

**EVALUACIÓN DE ESCENARIOS PARA LA AMPLIACIÓN DE LA
CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA LÍNEA ORAL-B DE LA
EMPRESA RETYCOL POR MEDIO DE SIMULACIÓN**

**JENNIFER GUERRERO FERREIRA
YOLY TATIANA HENRÍQUEZ FANDIÑO**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA
2004**

**EVALUACIÓN DE ESCENARIOS PARA LA AMPLIACIÓN DE LA
CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA LÍNEA ORAL-B DE LA
EMPRESA RETYCOL POR MEDIO DE SIMULACIÓN**

**JENNIFER GUERRERO FERREIRA
YOLY TATIANA HENRÍQUEZ FANDIÑO**

**Trabajo de grado presentado como requisito
para optar al título de Ingeniero Industrial**

**Asesor técnico metodológico:
Ingeniero Industrial Aldo Fábregas.**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA
2004**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, Febrero de 2004

*A Dios, por darnos la oportunidad de estar aquí,
A nuestros padres y hermanos, por su amor y comprensión,
A nuestros familiares y amigos que siempre nos brindaron su apoyo...
Gracias por ayudarnos a hacer nuestro sueño realidad.*

Con amor,

Jenny & Tata

RESUMEN

La simulación de procesos es una de las más grandes herramientas de la ingeniería industrial, esta se utiliza para representar un proceso mediante otro que lo hace mucho más simple y entendible que permite analizar sus características.

Pero la simulación no es solo eso, también es algo muy cotidiano, hoy en día es utilizada en la producción de textiles, alimentos, juguetes, construcción de infraestructuras por medio de maquetas, hasta el entrenamiento virtual de los pilotos de combate.

Las grandes compañías del mercado han obligado en los últimos años a implantar en las empresas todas aquellas tecnologías que puedan hacer realidad los tres grandes objetivos del diseño moderno: Diseñar para conseguir para una fabricación a un costo competitivo, Diseñar en orden la utilización real en servicio y, Diseñar bien al primer intento.

Palabras clave: Simulación, Estudio de métodos y tiempos, Investigación de operaciones

ABSTRACT

The process simulation is one of the biggest hardware of the industrial, this engineering it is used to represent a process by means of other that makes it much simpler and understandable than he allows to analyze its characteristics.

But the simulation is not alone that, also it is something very daily, nowadays it is used in the production of textiles, food, toys, construction of infrastructures by means of mock-ups, up to the virtual training of the pilots of combat.

The big companies of the market have forced in the last years to implant in the companies all those technologies that could to make real three big targets of the modern design:

To design to obtain for a manufacture to a competitive cost, to Design in order the real use in service and, to Design well to the first attempt

Key word: Simulation, Study of methods and times, Operations investigation

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	14
1.1. RESEÑA HISTÓRICA	14
1.2. MISIÓN	16
1.3. VISIÓN	17
1.4. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	18
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.	19
2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
2.2. ANTECEDENTES	20
2.3. JUSTIFICACIÓN	24
2.4. OBJETIVOS	26
2.4.1. Objetivo general.	26
2.4.2. Objetivos Específicos.	26
2.5. DISEÑO METODOLÓGICO	27
2.5.1 Tipo de estudio	27
2.5.2 Metodología	27
2.5.3 Fuentes de información	29
2.5.4 Etapas metodológicas	30

	Pág.
2.6 ALCANCES Y LIMITACIONES	31
2.7 CRONOGRAMA	32
3. MARCO TEÓRICO.	36
3.1. SIMULACIÓN DE PROCESOS.	36
3.1.1. Definición de simulación de procesos.	36
3.1.2. Simulación en Arena®.	51
3.1.3. Distribuciones estadísticas.	59
3.2. EL ESTUDIO DEL TRABAJO	66
3.2.1. Definición e importancia del estudio del trabajo.	66
3.2.2. La medición del trabajo.	66
3.2.3. Estudio de tiempos con cronómetro.	67
4. ESTADO ACTUAL DEL PROCESO	70
4.1. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA	70
4.1.1. Capacidad de producción de la línea.	73
4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y OPERACIONES	74
4.2.1. Descripción del Proceso.	74
4.2.2. Descripción de las Operaciones para la Fase II.	76
4.2.3. Estudio de trabajo para el estado actual.	82
4.2.4. Desarrollo del modelo.	87
4.2.5. Descripción del modelo	98

	Pág.
5. PRESENTACIÓN Y COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE MEJORA	104
5.1. ANÁLISIS DE ALTERNATIVA 1: Ampliación a tres turnos de trabajo.	104
5.2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVA 2: Proceso con dos máquinas llenadoras y dos colocadores de tapa.	108
5.3. ANÁLISIS DE ALTERNATIVA 3: Ampliación a dos turnos de trabajo con dos máquinas llenadoras.	111
5.4. COMPARACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL CON LAS ALTERNATIVAS DE MEJORA	116
6. RESUMEN Y CONCLUSIONES	118
BIBLIOGRAFÍA	121

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distribuciones Estadísticas	50
Tabla 2. Tiempo por operación para el estado actual.	83
Tabla 3. Tabla para determinar el tamaño de muestra.	85
Tabla 4. Tiempos observados para la operación 7.	88
Tabla 5. Tiempos observados para la operación 8.	89
Tabla 6. Tiempos observados para la operación 9.	90
Tabla 7. Tiempos observados para la operación 11.	91
Tabla 8. Tiempos observados para la operación 13.	92
Tabla 9. Tiempos observados para la operación 14.	93
Tabla 10. Tiempos observados para la operación 15.	94
Tabla 11. Tiempos observados para la operación 16.	95
Tabla 12. Tiempos observados para la operación 17.	96
Tabla 13. Tiempos observados para la operación 18.	97
Tabla 14. Distribuciones y errores de estimación utilizados para el modelo en estado actual.	99
Tabla 15. Entrada de entidades al sistema.	100

	Pág.
Tabla 16. Salida de entidades del sistema.	100
Tabla 17. Análisis de costos del estado actual.	101
Tabla 18. Utilización de los recursos en el estado actual.	101
Tabla 19. Establecimiento de los turnos de trabajo para la alternativa 1.	104
Tabla 20. Entrada de entidades al sistema para la alternativa 1.	105
Tabla 21. Salida de entidades del sistema para la alternativa 1.	105
Tabla 22. Análisis de costos para la alternativa 1.	106
Tabla 23. Utilización de los recursos en la alternativa 1.	107
Tabla 24. Entrada de entidades al sistema para la alternativa 2.	108
Tabla 25. Salida de entidades del sistema para la alternativa 2.	109
Tabla 26. Análisis de costos para la alternativa 2.	109
Tabla 27. Utilización de los recursos en la alternativa 2.	110
Tabla 28. Entrada de entidades al sistema para la alternativa 3.	112
Tabla 29. Salida de entidades del sistema para la alternativa 3.	112
Tabla 30. Análisis de costos para la alternativa 3.	113
Tabla 31. Utilización de los recursos en la alternativa 3.	114
Tabla 32. Comparación del sistema actual con las alternativas de mejora.	116

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Organigrama RETYCOL.	18
Figura 2. Cronograma de actividades	35
Figura 3. Algoritmo para modelar un sistema.	48
Figura 4. Gráfica de distribución Uniforme	61
Figura 5. Gráfica de distribución Exponencial	62
Figura 6. Gráfica de distribución Gamma	62
Figura 7. Gráfica de distribución Weibull	63
Figura 8. Gráfica de distribución Normal	63
Figura 9. Gráfica de distribución Lognormal	64
Figura 10. Gráfica de distribución Beta	64
Figura 11. Gráfica de distribución Triangular	65
Figura 12. Gráfica de distribución Poisson	65
Figura 13. Diagrama de distribución de planta.	71
Figura 14. Diagrama de distribución del área de trabajo.	72
Figura 15. Flujograma de proceso Fase I.	75
Figura 16. Flujograma de proceso Fase II.	75

	Pág.
Figura 17. Esquema del modelo de simulación.	98
Figura 18. Utilización de los recursos en el estado actual.	102
Figura 19. Utilización de los recursos para la alternativa 2.	110
Figura 20. Utilización de los recursos para la alternativa 3.	114

INTRODUCCIÓN

La simulación de procesos es una de las más grandes herramientas de la ingeniería industrial, esta se utiliza para representar un proceso mediante otro que lo hace mucho más simple y entendible que permite analizar sus características.

Pero la simulación no es solo eso, también es algo muy cotidiano, hoy en día es utilizada en la producción de textiles, alimentos, juguetes, construcción de infraestructuras por medio de maquetas, hasta el entrenamiento virtual de los pilotos de combate.

Las grandes compañías del mercado han obligado en los últimos años a implantar en las empresas todas aquellas tecnologías que puedan hacer realidad los tres grandes objetivos del diseño moderno: Diseñar para conseguir una fabricación a un costo competitivo, Diseñar en orden la utilización real en servicio y, Diseñar bien al primer intento.

En este sentido la introducción del C.A.D. (computer aided Design) esta ya representando un gran avance en la etapa del diseño conceptual de nuevos productos. Por contra, el C.A.E. se encuentra en una etapa mucho más primaria. Sin embargo, la verdadera reducción del bucle diseño-desarrollo se produce cuando ambas técnicas actúan conjuntamente. La primera para definir el producto y la segunda para simular su comportamiento en las condiciones de servicio, solo las conjunciones de ambas técnicas hacen posible que hacen alcanzar los tres objetivos antes mencionados.

La gran evolución de los métodos informáticos tanto en su aspecto de hardware como software, ha permitido afrontar la resolución de complejos físicos matemáticos cuya resolución analítica resultaría prácticamente imposible. De hecho, muchos de dichos problemas hace ya años que están planteados, solo hacía falta un medio adecuado para la obtención de resultados prácticos. Así pues, la simulación intenta reproducir la realidad a partir de resolución numérica mediante ordenador, de las ecuaciones matemáticas que describen dicha realidad. Por lo tanto, hay que asumir que la simulación es tan exacta como sean las ecuaciones de partida y la

capacidad de los ordenadores para resolverlas, lo cual fija límites a su utilización.

Mediante la simulación numérica es posible generar sólidos de aspectos casi reales, comprobar su comportamiento bajo diversas condiciones de trabajo, lo cual permite un conocimiento mucho más profundo de un producto antes de que exista físicamente, siendo posible detectar muchos de los problemas que de otro modo se hubieran detectado en el servicio real.

Los modelos de simulación son herramientas que facilitan la toma de decisiones para seleccionar la mejor alternativa que se puede lograr con una combinación de recursos y precios y nos muestra cuánto se podría pagar por una unidad más de cada recurso que se agota.

El siguiente proyecto permitirá por medio del uso de la simulación determinar las ventajas y desventajas de los cambios que se pueden implementar en la empresa Retycol para aumentar la capacidad de producción en la línea de ORAL-B.

1. DESCRIPCION GENERAL DE LA EMPRESA

1.1. RESEÑA HISTORICA

La empresa Laboratorios Rety de Colombia SA nace en el año de 1954, es instalada en la ciudad de Barranquilla como planta de producción de aguas de colonia y jabones de la marca alemana “Johann María Farina”, durante los años sesenta fue reconocida como una industria pionera en el llenado de aerosoles en Colombia. En el año 1995 Oral-B Corporation a través de su subsidiaria Gillette de Colombia, establece el convenio de fabricación, envase y empaque de su producto Enjuague Bucal Oral-B, catalogado como medicamento. Actualmente la empresa satisface los clientes de América Latina, Norte América y parte de Asia, sin embargo, su proyección es aumentar sus clientes en Asia y Europa para el próximo año.

La empresa Retycol S.A. busca desarrollar productos farmacéuticos, cosméticos y de aseo, higiene y limpieza; ensamblar sistemas de empaque a base de dosificación de productos y suministrar servicios con alta calidad de

tal forma que se satisfagan plenamente las necesidades y expectativas de sus clientes.

Actualmente la empresa cuenta con la certificación en Buenas Prácticas de Manufactura de medicamentos, cosméticos, productos de aseo, higiene y limpieza vigentes en el país, además cumple con los estándares internacionales de calidad homologados por The Oral-B Corporation USA.

1.2. MISIÓN

Desarrollar y fabricar productos farmacéuticos cosméticos de aseo, higiene y limpieza; ensamblar sistemas de empaque a base de dosificación de productos y suministrar servicios con alta calidad de tal forma que satisfagan plenamente las necesidades y expectativas de nuestros clientes.

Destinar los recursos necesarios para promover el desarrollo de nuestro potencial humano e invertir en tecnología con el fin de optimizar nuestras operaciones, ser competitivos, preservar el medio ambiente y de esta forma contribuir al beneficio social de la comunidad.

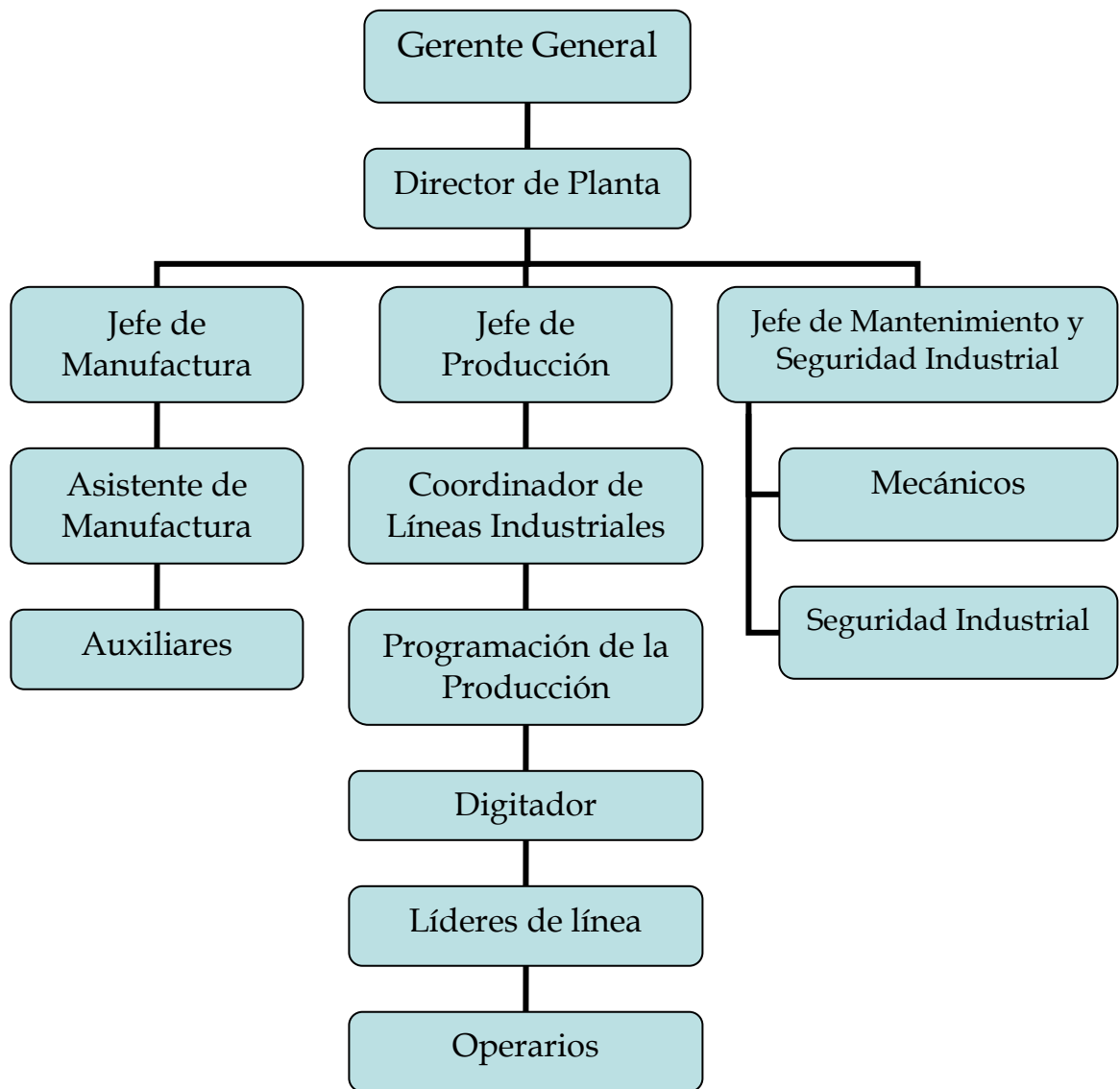
Garantizar a nuestros accionistas aceptables resultados económicos como retorno a su inversión.

1.3. VISION

En el nuevo milenio RETYCOL S.A. será reconocida como una empresa sólida y rentable, líder a nivel nacional e internacional en el desarrollo y fabricación de marcas cosméticas farmacéuticas y en aerosoles de primera calidad y tecnología, suministros de sistemas dosificables para cosméticos, farmacéuticos y hogar con un excelente servicio al cliente gracias al pleno desarrollo de su equipo humano y a su permanente actualización de tecnología.

1.4. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Figura 1. Organigrama RETYCOL



2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa RETYCOL S.A. cuenta con una línea de producción de enjuague bucal *Oral-B*. El nivel de producción actual de la línea es de 10 lotes por semana, esto alcanza para satisfacer la demanda de América Latina, Estados Unidos y Canadá; debido a la calidad del producto y la gran aceptación de éste en los mercados internacionales, la empresa tiene la posibilidad de ampliar su mercado a Europa y Asia, por lo cual surge la necesidad de evaluar cuál es la opción más factible para aumentar la capacidad de producción y lograr la satisfacción de la demanda prevista de 35 lotes semanales aproximadamente minimizando los costos de inversión.

2.2. ANTECEDENTES

Aunque la construcción de modelos simulados arranca desde el Renacimiento, el uso moderno de la palabra simulación data de 1940, cuando los científicos Von Neuman Y Ulam, que trabajaban en el proyecto Monte Carlo, durante la segunda Guerra Mundial, resolvieron problemas de reacciones nucleares cuya solución experimental sería muy cara y el análisis matemático demasiado complicado.

Con la utilización de la computadora en los experimentos de simulación, surgieron incontables aplicaciones y con ello, una cantidad mayor de problemas teóricos y prácticos.

Desde la mitad de los años 80's, la mejora de los procesos de negocios y la simulación se han convertido en metodologías principales para permitir a corporaciones entregar productos de alta calidad y servicios por el modelado de procesos de negocios. Los negocios procuran no simplemente automatizar operaciones existentes, también mejorar y rediseñar procesos de

negocio, encontrar y exceder expectativas del cliente para la entrega de productos y servicios.

Muchas organizaciones han utilizado la simulación como soporte para la toma de decisiones. Algunos casos que se pueden mencionar son:

1. *Proyecto de consultoría en simulación en Arena para el Washington Post*¹.

Este proyecto se encomendó a Gary Lucke, gerente de “Manufacturing Systems Engineering” y a Olivier Girod, gerente de Ingeniería Industrial del Washington Post. El objetivo de este estudio fue suministrar, al Washington Post, una herramienta de soporte a las decisiones que ayudara a evaluar la operación de carga de camiones en la planta de Springfield y en la propuesta de instalación de una planta en Maryland. La simulación buscaba ayudar a conocer el impacto en las operaciones de carga que tienen: la cantidad producida en la prensa, la utilización de bandejas y los patrones de llegada de camiones. Para poder alcanzar estos objetivos se desarrollaron dos modelos de simulación que incorporaban las secuencias reales de la operación y la lógica de decisiones requerida para representar con precisión las operaciones. Adicionalmente, la simulación permitió

¹ Una especificación funcional para el Washington Post (Tomado de "Simulation with Arena", Kelton, Sadowski, Sadowski)

incorporar información y resultados obtenidos por la "simulación de las operaciones de entrega de rollos mediante vehículos guiados automáticamente". Este proyecto fue realizado por la empresa consultora SM, el proveedor de los equipos de manejo de materiales y el periódico.

2. *El Uso de Modelos de Simulación como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Promoción de Nuevas Alternativas Forrajeras: El Caso de Costa Rica y Perú*²: El objetivo de este estudio fue mostrar los beneficios que se pueden obtener del uso de modelos de simulación utilizando como estudio de caso la cuantificación del impacto de nuevas alternativas forrajeras sobre el costo de producción de leche y sus implicaciones para la adopción tecnológica y la sostenibilidad del uso de la tierra en las laderas de Costa Rica y los márgenes de bosque de Perú.

El modelo utilizado en este trabajo fue desarrollado inicialmente por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

² Presentado en la XVI Reunión Latinoamericana de Producción Animal (ALPA), Marzo 28-31, 2000. Montevideo, Uruguay.

y la Red Internacional de Sistemas de Producción Animal para América Latina (RISPAL), ambas con sedes en Costa Rica, y luego expandido por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Cali, Colombia.

El objetivo del modelo fue evaluar el uso de la tierra y cuantificar el beneficio y los costos entre los componentes del sistema y entre la productividad biológica, los ingresos, y la conservación del medio ambiente para comprender mejor las interacciones a nivel de finca y hacer un mejor análisis de las alternativas que enfrentan las distintas regiones en sus procesos de desarrollo³.

³ Holmann y Estrada, 1997

2.3. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo permitirá evaluar los riesgos relacionados con la implementación de cualquier cambio en la línea de producción de ORAL-B en la empresa Retycol, además permite dar a conocer herramientas de análisis poco utilizadas actualmente que son de gran ayuda en la toma de decisiones, mediante el uso de dichas herramientas, la empresa obtiene una ventaja competitiva, evaluando los cambios que se deben implementar para lograr los objetivos corporativos propuestos teniendo en cuenta cada uno de los recursos de los cuales dispone para alcanzar sus metas.

Al desarrollar este proyecto, se darán alternativas para la generación de empleo en la organización, y teniendo en cuenta que la empresa busca la satisfacción de clientes de Europa y Asia, se aumentará la capacidad de producción de la empresa y, en consecuencia, las exportaciones.

Este tipo de trabajo permite el desarrollo de temas de investigación relacionados con la ingeniería, que requieren la aplicación de modelos que

permitan justificar los cambios que se van a implementar teniendo en cuenta las limitaciones del proceso productivo.

2.4. OBJETIVOS

2.4.1. Objetivo General

Realizar un estudio de factibilidad para la ampliación de la línea de producción de Oral B, mediante el uso de simulación.

2.4.2. Objetivos Específicos

- Utilizar la simulación como herramienta de soporte para la toma de decisiones.
- Evaluar diferentes escenarios para determinar la solución óptima al problema de ampliación de la línea de producción de Oral-B.
- Determinar las variables que intervienen en la evaluación y análisis del sistema determinando sus ventajas, desventajas y limitaciones.
- Dar alternativas de solución a un problema real a partir de la formulación de modelos lógicos y matemáticos.

2.5. DISEÑO METODOLÓGICO

2.5.1. Tipo de estudio: En este proyecto se utilizará la investigación descriptiva, la cual se propone describir de modo sistemático las características de una situación determinada, el estudio se realizará utilizando el método inductivo, el cual va de lo particular a lo general.

La principal característica de este método es que se basa en el estudio y observación real del fenómeno, por lo cual su utilización debe ser debidamente complementada con el análisis. Este método establece proposiciones de carácter general, inferidas por la observación y el estudio analítico de hechos y fenómenos particulares.

2.5.2. Metodología: El trabajo de investigación se desarrollará en tres etapas: investigación bibliográfica, investigación descriptiva y desarrollo de modelos. En la primera etapa se busca información en diferentes bibliografías relacionadas con el tema y el proceso productivo a estudiar a fin de comparar de qué manera tratan este

mismo tema diferentes autores o corrientes intelectuales, qué factores o variables toman en cuenta para tratar problemas similares y qué respuestas ofrecen.

En la segunda etapa se pretende recolectar los datos relacionados con el estudio, se realizará por medio de investigación descriptiva (utilizando el método de la observación) con el fin de obtener una buena percepción del funcionamiento del proceso productivo en la organización y determinar la manera en que se comportan las variables y factores que lo componen.

Y en la tercera se desarrollará el modelo de simulación del proceso para su posterior análisis. Una primera decisión es la selección, para la utilización de las simulaciones numéricas, del código comercial Arena®. Este código permite construir modelos informáticos para simular un sistema físico que se rige por unas reglas establecidas.

La decisión de utilizar este programa se debe a que Arena®. permite visualizar el proceso directamente en pantalla, sin ningún

esfuerzo de programación suplementario y también dispone de herramientas de ayuda para ajustar distribuciones estadísticas a los parámetros observados en la realidad y otras funciones que permiten analizar los resultados de una o varias simulaciones tal como lo requiere el proyecto.

2.5.3. Fuentes de información:

✂ **Fuentes primarias:** La información se obtendrá directamente mediante la observación y análisis del proceso objeto de este estudio, con esto se busca recopilar toda la información necesaria para poder llevar a cabo el proyecto. Para complementar esta recolección de datos se realizará en caso de ser necesario entrevistas a las personas que participan en las diferentes etapas del proceso.

✂ **Fuentes secundarias:** Las fuentes secundarias que se van a utilizar para llevar a cabo la investigación son los diferentes textos, documentos, revistas, monografías, que den un marco teórico básico para el desarrollo del análisis de los diferentes

aspectos y factores tanto económicos, técnicos y metodológicos del proyecto en su contexto general.

2.5.4. Etapas metodológicas

- ✕ Diseño anteproyecto
- ✕ Aprobación de anteproyecto
- ✕ Recolección de información de fuentes secundarias
- ✕ Recolección de información de las fuentes primarias
- ✕ Clasificación del material
- ✕ Tratamiento de la información
- ✕ Análisis e interpretación (Codificación)
- ✕ Redacción
- ✕ Entrega trabajo de grado
- ✕ Correcciones
- ✕ Sustentación

2.6. ALCANCES Y LIMITACIONES

Las limitaciones del proyecto están relacionadas directamente con la técnica escogida, en este caso la simulación de procesos ya que no se cuenta con bibliografía suficiente en idioma español y no se cuenta con mucho personal capacitado en el uso del software Arena® tanto en la empresa donde se desarrolla el proyecto como en la Universidad.

Los alcances del proyecto están delimitados por la aplicación que la organización pueda darle a los resultados y propuestas que se obtengan en este proyecto.

2.7. CRONOGRAMA

Este estudio comprende las siguientes etapas o fases:

- *Estudio inicial:* Esta fase comprende un trabajo conjunto con la empresa en aspectos como delimitación y análisis del sistema a estudiar, definición y medición de variables de respuesta en su estado actual (indicadores de gestión), variables controlables, resultados esperados entre otros. De igual forma en esta etapa se establecen las condiciones no controlables (internas o externas) por lo general restrictivas que deben ser satisfechas.

Tiempo estimado: 3 (tres) semanas.

- *Recolección de información:* Esta etapa es clave para la validez del modelo, ya que son los datos de entrada del modelo. Por lo tanto, la colaboración de la empresa es primordial suministrando y permitiendo la recolección de información relevante.

Tiempo estimado: 2 (dos) meses.

- ***Formulación y codificación del modelo:*** La formulación y codificación del modelo se realiza empleando el lenguaje de simulación ARENA de la compañía Rockwell Software. Este lenguaje es la evolución hacia el ambiente gráfico de SIMAN, el cual es ampliamente reconocido a nivel mundial, como uno de los mejores lenguajes de simulación de eventos discretos.

Tiempo estimado: 1 (un) mes.

- ***Verificación y validación:*** En esta fase se contrasta la lógica de las operaciones de la realidad con la secuencia seguida por el modelo, posteriormente se lleva a cabo una comparación estadística de los indicadores de gestión, con el fin de determinar si el modelo representa la situación real, condición de validez.

Tiempo estimado: 1 (un) mes.

- ***Experimentación / optimización:*** La experimentación consiste en ensayar diversos valores de control en un modelo de simulación válido, la optimización consiste en buscar tales valores, con el objeto de optimizar una respuesta. ARENA cuenta con una herramienta de

optimización comercial llamada OptQuest®, basada en redes neuronales artificiales.

Tiempo estimado: 1 (un) mes.

- *Documentación y entrega:* Es la fase final del estudio, en la que se presentan las diferentes alternativas o cursos de acción a seguir, con sus impactos en los indicadores de gestión y sugerencias para su implementación.

Tiempo estimado: 1 (una) semana.

3. MARCO TEORICO

3.1. SIMULACION DE PROCESOS

3.1.1. Definición de simulación de procesos

⊕ *Simulación de procesos:* La Simulación se puede entender como la ciencia de reproducir una serie de condiciones sobre un modelo y observar su evolución⁴. Algunas de las definiciones más aceptadas de y difundidas de la palabra simulación:

Naylor⁵ la define así: *Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital, los cuales requieren ciertos tipos de modelos lógicos y matemáticos que describen el comportamiento de un negocio o un sistema económico (o algún componente de ellos) en periodos extensos de tiempo real.*

La definición anterior está hecha en un sentido muy amplio, pues puede incluir desde una maqueta, hasta un sofisticado programa de computadora. En sentido más estricto, Masiel y Gnugnoli, definen simulación como: *Simulación es una técnica numérica para realizar*

⁴ System Improvement Using Simulation

⁵ Tomas H. Naylor (1977)

experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, industriales, biológicos físicos y químicos a través de largos períodos de tiempo.

Otros estudiosos del tema como Shannon⁶, definen simulación como:

El proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema.

Para los que prefieren una definición estrictamente formal, la propuesta por West Churman puede resultar satisfactoria, ya que admite las ambigüedades e inconsistencias inherentes al uso actual de la palabra y define la simulación como:

Se dice que “x simula a y” si y sólo si:

- a) x y y son sistemas formales;*
- b) y se considera como el sistema real;*
- c) x se toma como una aproximación del sistema real;*

⁶ Robert E. Shannon (1988)

d) Las reglas de validez en x no están exentas de error⁷.

Los lenguajes de programación de la simulación de procesos se caracterizan por estar orientados a objetos⁸: El núcleo del modelo es la creación o definición de entidades (u objetos) inmersos en un marco temporal. Los objetos tienen propiedades y sufren eventos: Se les puede duplicar, modificar, forman filas y se mueven en el tiempo y en un espacio virtual.

✦ *Aplicaciones de la simulación:* Existe una gran cantidad de áreas donde la técnica de simulación puede ser aplicada. Algunos ejemplos podrían ser los siguientes:

Simulación de sistemas de colas: Con la técnica de simulación es posible estudiar y analizar sistemas de colas cuya representación matemática

⁷ Boni, 1963

⁸ La Programación orientada a objetos (OOP) promete mejoras de amplio alcance en la forma de diseño, desarrollo y mantenimiento del software ofreciendo una solución a largo plazo a los problemas y preocupaciones que han existido desde el comienzo en el desarrollo de software: la falta de portabilidad del código y reusabilidad, código que es difícil de modificar, ciclos de desarrollo largos y técnicas de codificación no intuitivas. Un lenguaje orientado a objetos ataca estos problemas. Tiene tres características básicas: debe estar basado en objetos, basado en clases y capaz de tener herencia de clases. La OOP. se basa en la idea natural de la existencia de un mundo lleno de objetos y que la resolución del problema se realiza en términos de objetos, un lenguaje se dice que está basado en objetos si soporta objetos como una característica fundamental del mismo. El elemento fundamental de la OOP es, como su nombre lo indica, el objeto. Se define un objeto como un conjunto complejo de datos y programas que poseen estructura y forman parte de una organización.

sería demasiado complicada de analizar. Ejemplos de estos sistemas serían aquellos donde es posible la llegada al sistema en grupo, la salida de la cola del sistema, el rehusar entrar al sistema cuando la cola es excesivamente grande, etc.

Simulación de sistemas de inventarios: A través de simulación se puede analizar más fácilmente sistemas de inventarios donde todos sus parámetros (tiempo de entrega, demanda, costo de llevar inventario, etc.), son estocásticos.

Simulación de un proyecto de inversión: Existen en la práctica una gran cantidad de proyectos de inversión donde la incertidumbre con respecto a los flujos de efectivo que el proyecto genera a las tasas de interés, a las tasas e inflación, etc., hacen difícil y a veces imposible manejar analíticamente este tipo de problemas. Para este tipo de situaciones el uso de simulación es ampliamente recomendado.

Simulación de sistemas económicos: La técnica de simulación puede ser utilizada para evaluar el efecto de cierto tipo de decisiones

(devaluación de la moneda, el impuesto al valor agregado, etc.), en las demás variables macroeconómicas como: producto nacional bruto, balanza comercial, inflación, oferta monetaria, circulante, etc.

Simulación de estados financieros: La expansión y diversificación de una organización a través de la adquisición y establecimiento de nuevas empresas, repercuten significativamente en su posición y estructura financiera. Por consiguiente, el uso de simulación permite analizar cuál de las estrategias de crecimiento son las que llevarán a la organización al logro de sus objetivos y metas de corto, mediano y largo plazo.

Simulación de juegos de azar: Se pueden hacer predicciones sobre los resultados de un juego en particular, donde las variables involucradas son estocásticas.

- ⊕ *Terminología de simulación:* Un sistema es un grupo organizado de entidades como son gente, equipo, métodos y partes que trabajan juntas hacia un objetivo en específico. Un modelo de simulación

caracteriza a un sistema por la descripción matemática de las respuestas que pueden surgir de la interacción entre entidades.

El estado del sistema es una colección de variables, estocásticas y determinísticas que contienen toda la información necesaria para describir un sistema en cualquier punto y en un tiempo.

Una simulación de evento discreto es una acción instantánea que ocurre en un punto único en un tiempo. La ocurrencia de estos eventos puede causar cambios en el estado del sistema. Un banco es un ejemplo de sistema discreto, ya que las variables de estado cambian solo cuando llega un cliente, o cuando un cliente termina sus trámites y se va. Estos cambios tienen lugar en puntos discretos en el tiempo.

Una simulación de evento continuo es una acción continua sin interrupción con respecto al tiempo. Este tipo de eventos comprende un porcentaje de tiempo de cambio, representada por ecuaciones diferenciales. Un ejemplo de un proceso continuo es un proceso

químico, en este caso el estado del sistema varía continuamente a través del tiempo. Estos sistemas se modelan en general mediante ecuaciones diferenciales. La simulación con eventos continuos permite a las variables cambiar continuamente con el tiempo, con el porcentaje de cambio ligado al reloj de simulación.

La corrida de un modelo comprende hacer funcionar la simulación por un período de tiempo específico con un único conjunto de valores aleatorios. La duración de una corrida es el tiempo total de simulación en el que se corre un modelo. La réplica opera el mismo sistema por el mismo período de tiempo con uno o más valores aleatorios⁹ diferentes.

Una solución óptima se representa cuando los valores de las variables iniciales producen la salida óptima. Los algoritmos localizan la mejor solución, aunque no hay garantía que así sea y tratan de encontrar la mejor solución en un tiempo razonable.

⁹ Definidos por distribuciones estadísticas.

⊕ *Tipos de modelos de simulación:*

- *Modelos de simulación estática vs. Dinámica:* Un modelo de simulación estática, se entiende como la representación de un sistema para un instante (en el tiempo) en particular o bien para representar un sistema en el que el tiempo no es importante, por ejemplo la simulación Montecarlo; en cambio un modelo de simulación dinámica representa a un sistema en el que el tiempo es una variable de interés, como por ejemplo en el sistema de transporte de materiales dentro de una fabrica, una torre de enfriamiento de una central termoeléctrica, etc.
- *Modelos de simulación determinista vs. Estocástica:* Si un modelo de simulación no considera ninguna variable importante, comportándose de acuerdo con una ley probabilística, se le llama un modelo de simulación determinista. En estos modelos la salida queda determinada una vez que se especifican los datos y relaciones de entrada al modelo, tomando una cierta cantidad de tiempo de cómputo para su evaluación. Sin embargo, muchos sistemas se modelan tomando en cuenta algún componente

aleatorio de entrada, lo que da la característica de modelo estocástico de simulación. Un ejemplo sería un sistema de inventarios de una fábrica, o bien el sistema de líneas de espera de una fábrica, etc. Estos modelos producen una salida que es en sí misma de carácter aleatorio y ésta debe ser tratada únicamente para estimar las características reales del modelo, esta es una de las principales desventajas de este tipo de simulación.

- *Modelos de simulación continuos vs. discretos:* Los modelos de simulación discretos y continuos, se definen de manera análoga a los sistemas discretos y continuos respectivamente. Pero debe entenderse que un modelo discreto de simulación no siempre se usa para modelar un sistema discreto. La decisión de utilizar un modelo discreto o continuo para simular un sistema en particular, depende de los objetivos específicos de estudio. Por ejemplo: un modelo de flujo de tráfico en una supercarretera, puede ser discreto si las características y movimientos de los vehículos en forma individual es importante. En cambio, si los vehículos pueden considerarse como un agregado en el flujo de tráfico

entonces se puede usar un modelo basado en ecuaciones diferenciales presentes en un modelo continuo. Otro ejemplo: Un fabricante de comida para perros, requiere el auxilio de una compañía consultora con el objeto de construir un modelo de simulación para su línea de fabricación, la cual produce medio millón de latas al día a una velocidad casi constante. Debido a que cada una de las latas se representó como una entidad separada en el modelo, éste resultó ser demasiado detallado y por ende caro para correrlo, haciéndolo poco útil. Unos meses más tarde, se hizo una reformulación del modelo, tratando al proceso como un flujo continuo. Este nuevo modelo produjo resultados precisos y se ejecuto en una fracción del tiempo necesario por el modelo original.

- ⊕ *Proceso para un proyecto de simulación*¹⁰: Se debe considerar que para elaborar un modelo de simulación se requiere una planeación anterior para poder tomar una decisión final. El proceso para desarrollar un

¹⁰ System Improvement Using Simulation

modelo de simulación contiene los pasos que se describirán a continuación:

1. Definición del problema y objetivos: Antes que nada se debe preparar un modelo al cual se le puedan agregar y detallar aspectos del sistema conforme este se desarrolla. Los objetivos de una simulación deben fluir naturalmente a partir del enunciado del problema. No deben estar limitados ya que esto repercute en la experimentación de nuevas alternativas sugeridas.
2. Formulación y planeación del modelo: Esta estructura deberá incluir los eventos principales y elementos. Si se usa un layout del sistema le brindará ventajas ya que estos mostrarán gráficamente el sistema, diagramas de flujos y secuencias de operaciones también pueden ser herramientas muy útiles. Un plan debe mostrar los datos requeridos, recursos y los medios para obtenerlos. El paso inicial es capturar la información y condiciones que repercuten en el objetivo del modelo. La mejor regla es ir detallando el modelo conforme se vuelva necesario y no desde el principio, en este paso lo importante es crear

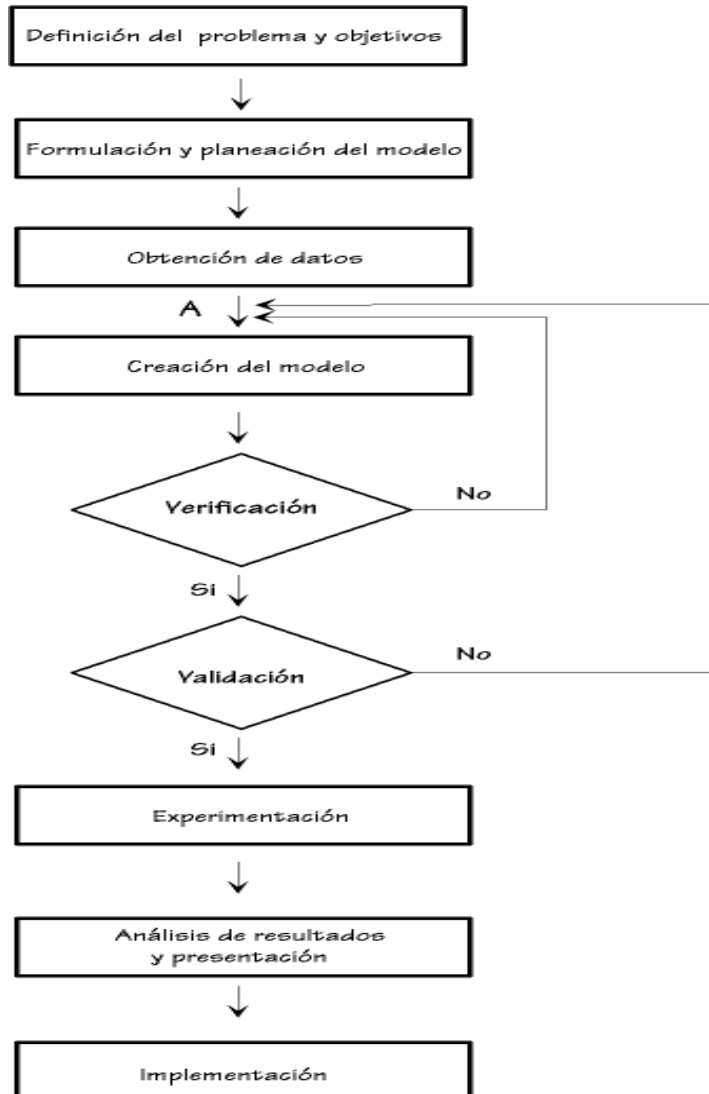
una relación clara entre el modelo y el propósito establecido en los objetivos.

3. Obtención de datos: Este punto hace referencia a la recolección de información y datos fundamentales, a esto se le denomina “datos macro”. El principal propósito de estos datos es el de proveer las bases para establecer parámetros de entrada y para encontrar aquellos datos que necesitan de mayor estudio, a estos datos de mayor detalle se les denomina “datos micro”. El proceso de obtención de datos es un proceso que continua durante todo el desarrollo del modelo, continuamente la persona que está modelando requerirá de mayor información, pero lo importante es poder elegir la información relevante. La información ya existente puede ser útil para el modelo de simulación.

4. Creación del modelo: El modelo normalmente puede comenzar como un concepto o visión del sistema, que poco a poco entrará en detalle. El modelo conceptual puede comenzar como un modelo lógico de relaciones entre las operaciones o procesos. Es importante la

interacción con la gente que trabaja dentro del sistema para que con ello se tenga una mayor idea y se definan detalles.

Figura 3. Algoritmo para modelar un sistema



5. Verificación: Este paso consiste en revisar que el modelo trabaje de la misma manera que el modelador pretende. Esto se logra cuando se corre la simulación y con un monitoreo de las operaciones. Algunas herramientas son la animación, correr el modelo a una velocidad

lenta, agregarle un reloj y contadores visibles al modelo. En muchas ocasiones el comportamiento del modelo se puede analizar creando diferentes escenarios para hacer una comparación.

6. Validación: Este es el proceso de asegurarse que el modelo refleje la realidad del sistema. Esta debe ser una tarea entre el modelador, los usuarios y la gente que trabaja dentro. Las formas de hacer válido el modelo es cambiar los valores de entrada para determinar si el modelo responde de manera similar, utilizar animación, el uso de sistemas expertos y la comparación entre salidas históricas y los nuevos valores.
7. Experimentación: Idealmente el modelador y otras personas involucradas con el proyecto deben tener ideas sobre alternativas de mejora. Además, que en esta parte se debe determinar el número de réplicas necesarias para obtener resultados confiables. Una corrida de simulación demasiado larga requiere de un costo y el tiempo suficiente, por el otro lado, si el número de réplicas disminuye el error aumentará.

8. Análisis de resultados y presentación: Cada configuración y salidas del sistema deben ser documentadas, además de reportes de las alternativas de mejora con sus indicadores. En algunos casos se requiere de información estadística adicional, layout y diagramas de flujo. De manera ideal el modelador debe preparar un reporte listando las alternativas modeladas, las suposiciones y los resultados obtenidos.
9. Implementación: Esta parte del proceso comienza cuando se da inicio al proyecto de simulación, ya que la mayoría de las veces se pretende crear un modelo de simulación para implementarse. Además de que puede servir como base para agregarse y modificarse para nuevos proyectos o dar continuidad a las mejoras de los sistemas.

3.1.2. Simulación en Arena®

- ✦ Ventajas de la simulación con el software Arena®: Con la simulación de procesos en el software Arena se puede:
 - Modelar procesos discretos para definir, documentar y comunicar.

- Simular el funcionamiento futuro de un sistema para entender relaciones complejas e identificar oportunidades de mejora.
- Visualizar las operaciones con animación dinámica.
- Analizar como un sistema funcionará en su configuración “está” y bajo una mirada de futuras alternativas de “será” para poder escoger la mejor alternativa.
- Permite analizar grandes problemas complejos para los que no están disponibles resultados analíticos. De hecho, la mayoría de los problemas de mundo real encajan en esta categoría. La simulación proporciona una alternativa práctica.
- La simulación permite que el tomador de decisiones experimente con muchas políticas y argumentos diferentes sin cambiar o experimentar realmente con el sistema existente real. Por ejemplo, permite estudiar el impacto de añadir una nueva estación de trabajo a una línea de producción sin tener que organizar la estación de trabajo físicamente.
- Permite comprimir tiempo. Por ejemplo, estudiar el impacto a largo plazo de una política durante todo un año en una simulación dura unos cuantos minutos.

- Algunas técnicas analíticas requieren de experiencia matemática sofisticada, tanto para utilizarlas como para comprenderlas. Una simulación puede requerir pocas o ningunas matemáticas complejas y por tanto, puede ser intuitivamente más comprensibles. Por esta razón, puede usarse aún cuando el problema pueda analizarse usando técnicas matemáticas.

- ✦ ¿Qué es un módulo?: “En Arena, los módulos son el organigrama y los datos que definen el proceso para ser simulado. Toda la información requerida para simular un proceso es almacenada en módulos”¹¹.

- ***Módulos del panel de proceso básico de Arena:***
 - ✂ CREATE: Es el punto de inicio de las entidades en un modelo de simulación. Las entidades se pueden crear con un horario o basado en el tiempo entre llegadas. Las entidades dejan el módulo para comenzar su procesamiento en el sistema. En este módulo se especifica el tipo de entidad.

¹¹ Simulation With Arena

- ✧ DISPOSE: Es el punto final de las entidades de un modelo de simulación.
- ✧ PROCESS: Representa una transformación de las entidades en la simulación. Contiene opciones para tomar y liberar el recurso. Además, hay una opción para utilizar un submodelo y especificar la lógica definida por el usuario. A la entidad se le asigna un tiempo de proceso, el cual puede ser clasificado como:
 - Sin valor añadido
 - Con valor añadido
 - Transferencia
 - Espera
 - Otro

El costo del procesamiento de cada entidad se sumará a la categoría que se señale.

- ✧ DECIDE: Representa una decisión. Las opciones permiten representar decisiones basadas en una o más condiciones, o basadas en una o más probabilidades. Las condiciones se

pueden basar en los valores de los atributos, o las variables, el tipo de entidad o una expresión.

✂ BATCH: Constituye el mecanismo para agrupar entidades.

La agrupación puede ser temporal o permanente. Los lotes temporales deben ser desagrupados con un módulo SEPARATE. Los lotes se pueden formar con cualquier número de entidades (la cantidad está especificada por el usuario), o se pueden cotejar basado en un atributo. Las entidades que llegan a un módulo BATCH se colocan en una cola hasta que se acumule la cantidad especificada. Una vez acumuladas, se crea una entidad que representa al lote.

✂ SEPARATE: Se utiliza para:

- copiar una entidad en múltiples entidades
- separar una entidad previamente agrupada en un lote.

Se debe especificar las reglas para asignar costos y tiempos a los duplicados. Cuando se separan lotes existentes, la entidad temporal que representa al lote se elimina y las entidades originales con las que se formó el lote se

recuperan. Las entidades continúan secuencialmente desde el módulo en el mismo orden en el que se agruparon en el lote. Cuando se duplican entidades, se fabrican copias en la cantidad especificada y se envían al siguiente paso. También perdura la entidad original que entró al módulo.

✂ ASSIGN: Se utiliza para asignar nuevos valores a variables, atributos, tipos de entidades, dibujos de entidades. Se pueden hacer asignaciones múltiples en un solo módulo ASSIGN.

✂ RECORD: Se utiliza para calcular valores relevantes en el modelo de simulación. Están disponibles varios valores estadísticos:

- tiempo entre salidas
- estadísticos de las entidades (tiempos, costos)
- observaciones generales
- estadísticos de intervalos (desde un sello de tiempo hasta el tiempo actual del reloj).

También existe un estadístico de conteo. Se pueden especificar conjuntos de contadores o valores calculados.

- *Módulos de datos:*

- ✧ ENTITY: Define los diferentes tipos de entidades y su dibujo inicial, y la información de costos.
- ✧ QUEUE: Se utiliza para cambiar la regla de clasificación de una cola específica. La regla por defecto es PEPS¹².
- ✧ RESOURCE: Se utiliza para definir los recursos del sistema a simular. Los datos del recurso son: Nombre, tipo, capacidad, nombre del horario, regla del horario, costos, estados del recurso, estado inicial, fallas, estadísticas del recurso.
- ✧ VARIABLE: Se utiliza para definir una variable global y sus valores iniciales.
- ✧ SCHEDULE: Se utiliza en conjunto con un módulo RESOURCE para definir un horario operativo o con el módulo CREATE para definir un horario de llegada.
- ✧ SET: Se utiliza para definir conjuntos de: recursos, contadores, cálculos, tipos de entidades o dibujos de entidades. Los conjuntos de recursos se pueden utilizar en el

¹² PEPS: Primero en entrar, primero en salir.

módulo PROCESS y en SIEZE, RELEASE, ENTER, LEAVE del panel de proceso avanzado y el panel de transferencia avanzada.

- ⊕ ¿Qué son las variables y atributos?: Cada sistema y subsistema contiene un proceso interno que se desarrolla sobre la base de la acción, interacción y reacción de distintos elementos que deben necesariamente conocerse.

Dado que dicho proceso es dinámico, suele denominarse como variable, a cada elemento que compone o existe dentro de los sistemas y subsistemas.

Pero no todo es tan fácil como parece a simple vista ya que no todas las variables tienen el mismo comportamiento, sino que, por lo contrario, según el proceso y las características del mismo, asumen comportamientos diferentes dentro del mismo proceso de acuerdo al momento y las circunstancias que las rodean.

Los atributos de los sistemas, definen al sistema tal como lo conocemos u observamos. Los atributos pueden ser definidores o concomitantes: los atributos definidores son aquellos sin los cuales

una entidad no sería designada o definida tal como se lo hace; los atributos concomitantes en cambio son aquellos que cuya presencia o ausencia no establece ninguna diferencia con respecto al uso del término que describe la unidad.

Si la salida de un proceso se puede medir como una variable continua, como es el caso del voltaje de una fuente de energía eléctrica, el diámetro de un alambre, la duración de un ciclo, entonces no habrá dos medidas idénticas, y las variaciones seguirán, en general, la llamada distribución normal.

Cuando la salida de un proceso no se puede medir en términos de una variable continua, sino como un valor discreto (por ejemplo, el número de errores tipográficos en un informe, el número de reclamaciones de los clientes, el número de piezas mal montadas, cheques mal integrados, elementos faltantes en carpetas crediticias), estos valores se llaman atributos.

- ⊕ ¿Qué son las entidades?: Las entidades son los artículos, clientes, documentos, partes que están siendo servidos, producidos o si no interpretados por su proceso.

En procesos de negocios, son documentos o registros electrónicos (comprobaciones, contratos, aplicaciones, órdenes de compra). En sistemas de servicio, las entidades por lo general son gente (los clientes siendo servidos en un restaurante, hospital, aeropuerto, etc.).

El modelo de fabricación típicamente tiene alguna parte donde la entidad entra en un proceso, puede ser de materia prima, un subcomponente o el producto final. Otros modelos podrían tener tipos diferentes de entidades, como almacenes. Se pueden tener tipos diferentes de entidades en el mismo modelo.

3.1.3. Distribuciones estadísticas: Arena contiene un sistema de funciones para generar números al azar de las distribuciones comúnmente utilizadas de probabilidad. Estas distribuciones aparecen en menús desplegables en muchos módulos de Arena. También se pueden ajustar los datos a las distribuciones en el *Input Analyzer*.

Cada una de las distribuciones en Arena tiene uno o más parámetros asociados y se deben especificar estos valores de parámetro para

definir la distribución. El número, el significado y el orden de los valores de parámetro dependen de la distribución. El resumen de las distribuciones y de los valores de parámetro se da en la tabla 1.

Tabla 1. Distribuciones Estadísticas

Distribución	Abreviatura	Valores Del Parámetro
Beta	BETA	Beta, Alfa
Continua	CONT	CumP1.Val1,... CumPn.Valn
Discreta	DISC	CumP1.Val1,... CumPn.Valn
Erlang	ERLA	ExpoMedia,k
Exponencial	EXPO	Media
Gamma	GAMM	Beta, Alfa
Jonson	JOHN	Gamma, Delta, Lambda, Xi
Lognormal	LOGN	LogMedia, LogStd
Normal	NORM	Media, DesvStd
Poisson	POIS	Media
Triangular	TRIA	Min, Media, Máx
Uniforme	UNIF	Min, máx
Weibull	WEIB	Beta, Alfa

Fuente: Simulation with Arena®

- ⊕ **Distribución Uniforme:** Utilizada como el primer modelo para una cantidad que se cree distribuida aleatoriamente entre dos puntos. Se utiliza para generación de valores aleatorios para todas las demás distribuciones.

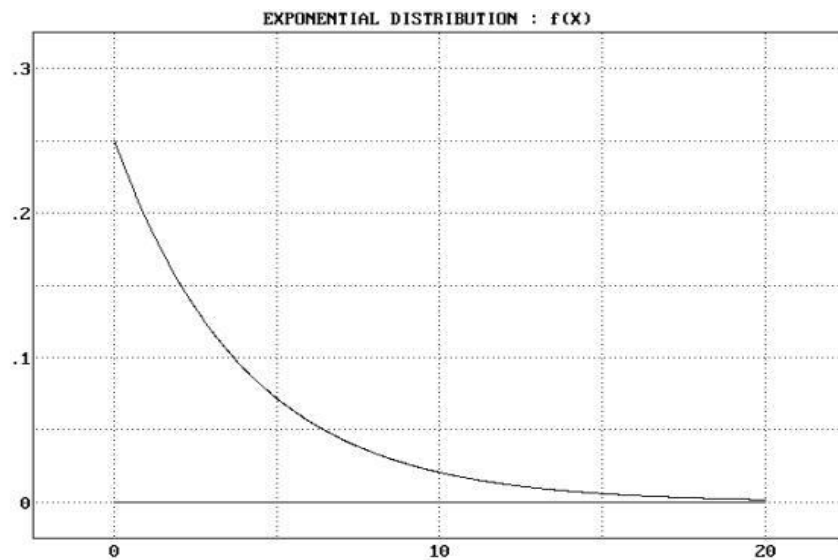
⊕

Figura 4. Gráfica de distribución Uniforme.



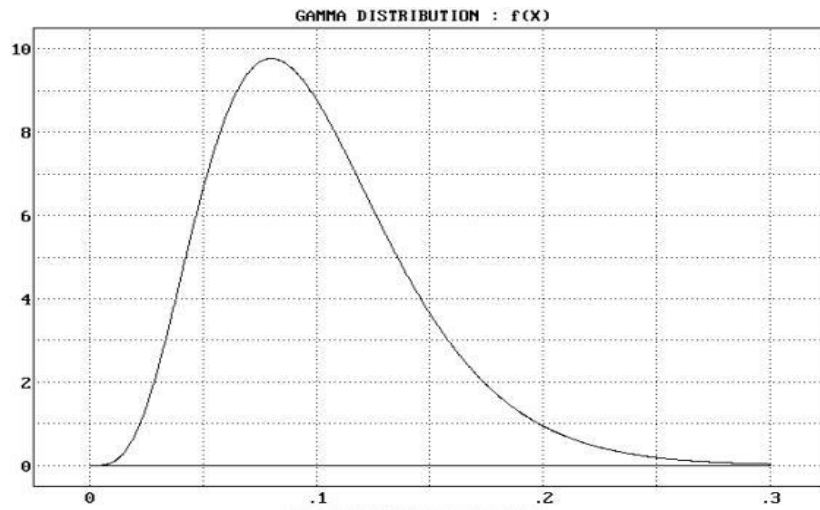
- ⊕ Distribución Exponencial: Tiempo entre llegadas de clientes o piezas a un sistema que ocurre con una tasa constante. Esta distribución es la única continua sin memoria.

Figura 5. Gráfica de distribución Exponencial.



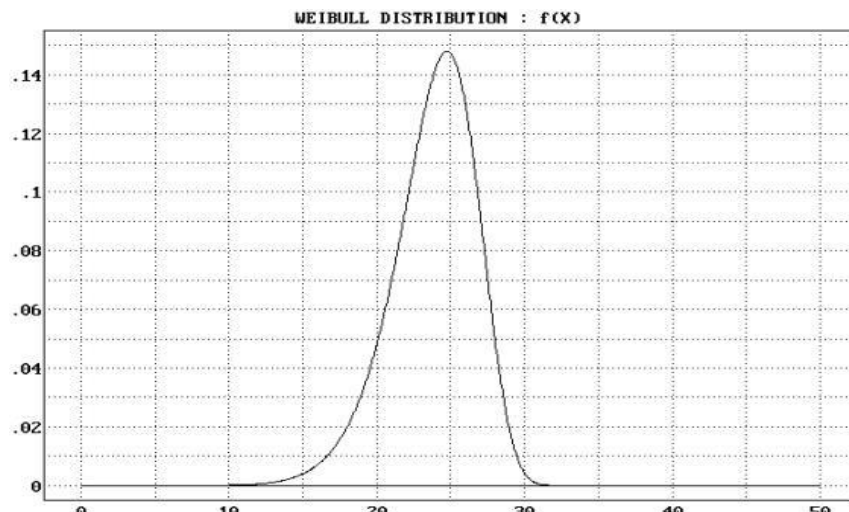
- ⊕ Distribución Gamma: Tiempo para completar una tarea, como puede ser tiempo de servicio al cliente o reparación de una máquina.

Figura 6. Gráfica de distribución Gamma.



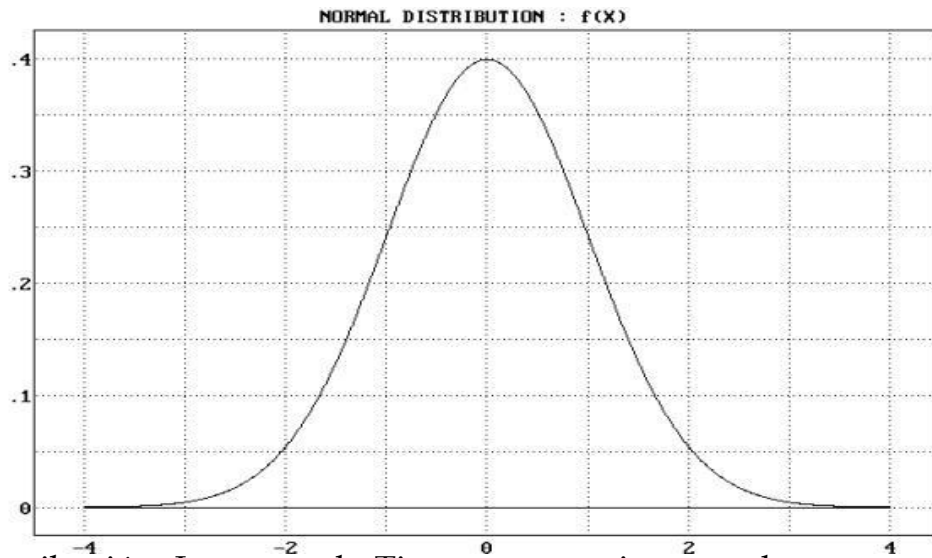
- ⊕ Distribución Weibull: Tiempo para completar alguna tarea, su función de densidad es similar a la de Gamma. Es también utilizada para el tiempo en que falle alguna pieza de un equipo.

Figura 7. Gráfica de distribución Weibull.



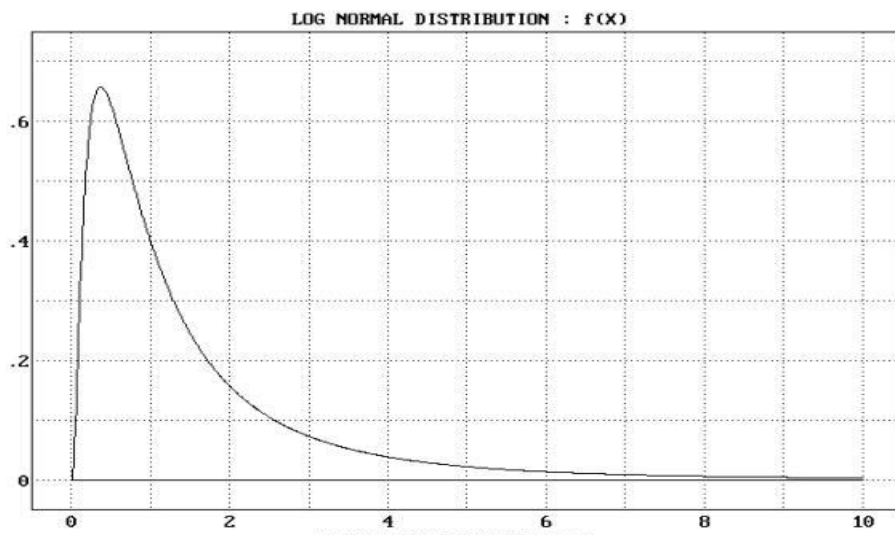
- ⊕ Distribución Normal: Errores de varios tipos, cantidades de sumas de números grandes.

Figura 8. Gráfica de distribución Normal.



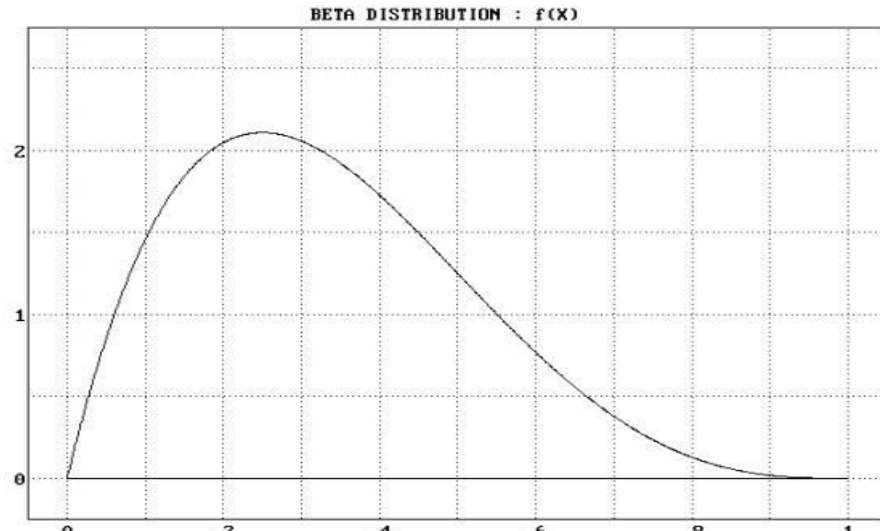
- ⊕ Distribución Lognormal: Tiempo para ejecutar algunas tareas (Su distribución toma forma similar a la Gamma).

Figura 9. Gráfica de distribución Lognormal.



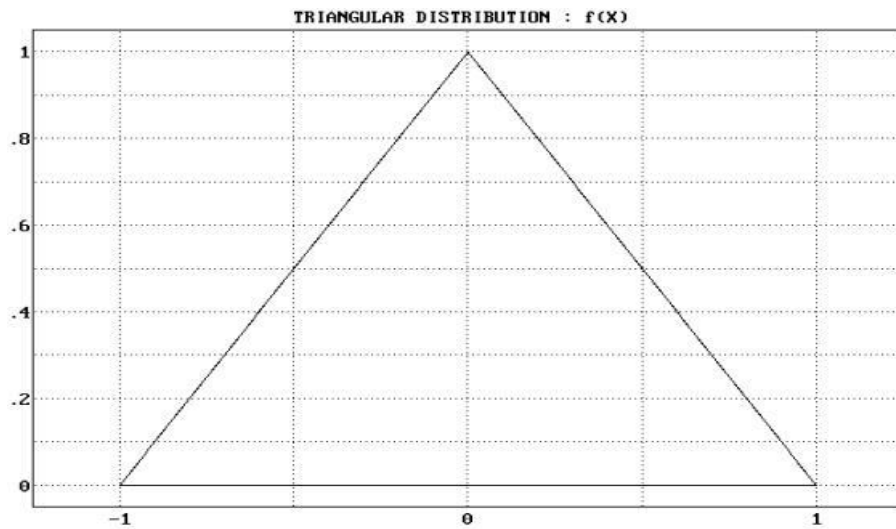
- ⊕ **Distribución Beta:** Usada en modelos ásperos en la ausencia de datos, distribuciones de proporciones al azar. Semejante a la proporción de defectuosos en un proceso, tiempo para completar tareas.

Figura 10. Gráfica de distribución Beta.



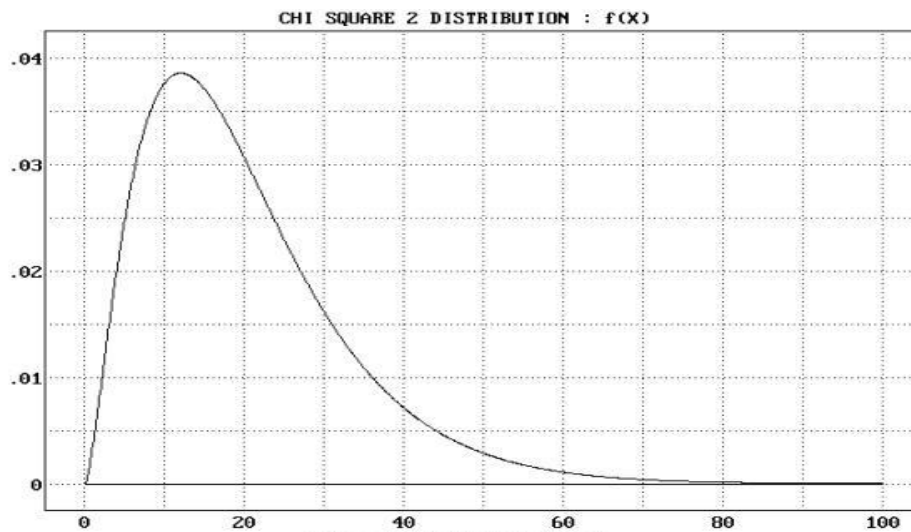
- ⊕ **Distribución Triangular:** Se usa como un modelo tosco donde no hay muestra. Por ello no existen estimadores relevantes.

Figura 11. Gráfica de distribución Triangular.



- ⊕ Distribución Poisson: Número de eventos independientes que ocurren en un intervalo de tiempo.

Figura 12. Gráfica de distribución Poisson.



3.2. EL ESTUDIO DEL TRABAJO

3.2.1. Definición e importancia del estudio del trabajo

- ⊕ *Finalidad del estudio del trabajo:* Se entiende por estudio del trabajo, genéricamente ciertas técnicas y en particular “El estudio de métodos y la medición del trabajo que se utiliza para examinar el trabajo humano en todos sus contextos y que llevan sistemáticamente a

investigar todos los factores que influyen en la eficiencia y economía de la situación estudiada, con el fin de efectuar mejoras”¹³

3.2.2. La medición del trabajo

- ⊕ *Definición de medición del trabajo:* Es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea definida efectuándola según una norma de ejecución preestablecida.

- ⊕ *Técnicas de la medida del trabajo:* Las principales técnicas que se emplean para la medida del trabajo son las siguientes:
 - Estudio de tiempos con cronómetro.
 - Método de las observaciones instantáneas (Muestreo de trabajo).
 - Sistema de tiempos predeterminados (MTM, Modaps, MOST).
 - Empleo de videos.
 - Síntesis de los datos tipo.
 - Evaluación analítica.

¹³ Ingeniería Industrial, Métodos, Tiempos y Movimientos

3.2.3. Estudio de tiempos con cronómetro: La técnica más comúnmente empleada para medir el trabajo es el estudio de tiempos con cronómetro. Se utiliza esta técnica para determinar con la mayor exactitud posible, partiendo de un número limitado de observaciones, el tiempo necesario para realizar un trabajo especificado con arreglo a una norma de rendimiento preestablecida.

⊕ *Usos del estudio de tiempos con cronómetro:* Los resultados del estudio de tiempos pueden emplearse para los siguientes fines:

- Para planear y controlar la producción.
- Para medir la eficiencia del trabajo de los técnicos.
- Para establecer la carga de trabajo justa para los técnicos.
- Para obtener el máximo rendimiento de las máquinas y número de éstas que puede manejar un técnico.
- Para determinar el número de técnicos necesarios en un grupo o equipo.
- Para establecer salarios a destajo o por incentivos.
- Para ayudar a mantener un alto índice de la calidad.
- Para ayudar a la supervisión de los técnicos.

- Para determinar costos normales y como ayuda en la preparación de presupuestos.
 - Para estimar costos de un producto previo a su manufactura.
- ⊕ Motivos para hacer los estudios de tiempos: Para efectuar un estudio de tiempos en una línea de producción debe de presentarse alguno de los siguientes motivos:
- Cuando es el primer estudio que se hace de la operación o proceso en cuestión, con el objeto de acreditar tiempos estándar.
 - Cuando se efectuó alguna mejora en la línea debido a un estudio de métodos previo realizado por el analista.
 - Comprobación de discrepancias con relación a las secuencias de operaciones, debido al uso de otros aditamentos o equipos, herramientas y al cambiarse el material o el procedimiento de fabricación.
 - Cuando se quiera comprobar las propuestas de mejoras que hubiere.
 - Comprobación de diferentes eficiencias en el mismo trabajo.

- Cuando se desea comparar entre un estudio de tiempos predeterminados con otro por medio de estudio con cronómetro.
- Cuando el último estudio de tiempos ha quedado obsoleto, debido a racionalizaciones, integraciones, cambios de construcción o mejoras de calidad.
- Por solicitud de producción, planeación, relaciones laborales o por la representación sindical.

4. ESTADO ACTUAL DEL PROCESO

4.1. DESCRIPCION DE LA LINEA

Con el fin de proponer alternativas de mejora es necesario conocer la situación en que se encuentra la línea al inicio del análisis.

El estado actual se analizó mediante un estudio del trabajo, el cual esta directamente relacionado con la productividad, ya que permite determinar la utilización de los recursos y determinar en que forma se puede obtener una mayor producción, con una cantidad de recursos determinada.

En la línea de medicamentos de *RETYCOL* se realiza el producto Oral B, en sus diversas presentaciones, aquí se desarrollan las actividades de preparación del producto, llenado, etiquetado y empaque. En esta línea se trabaja de lunes a viernes en un turno de 8 horas diarias, es una línea enfocada al producto y su distribución en planta actual es la que se presenta en las siguientes figuras.

Figura 13. Diagrama de distribución de planta

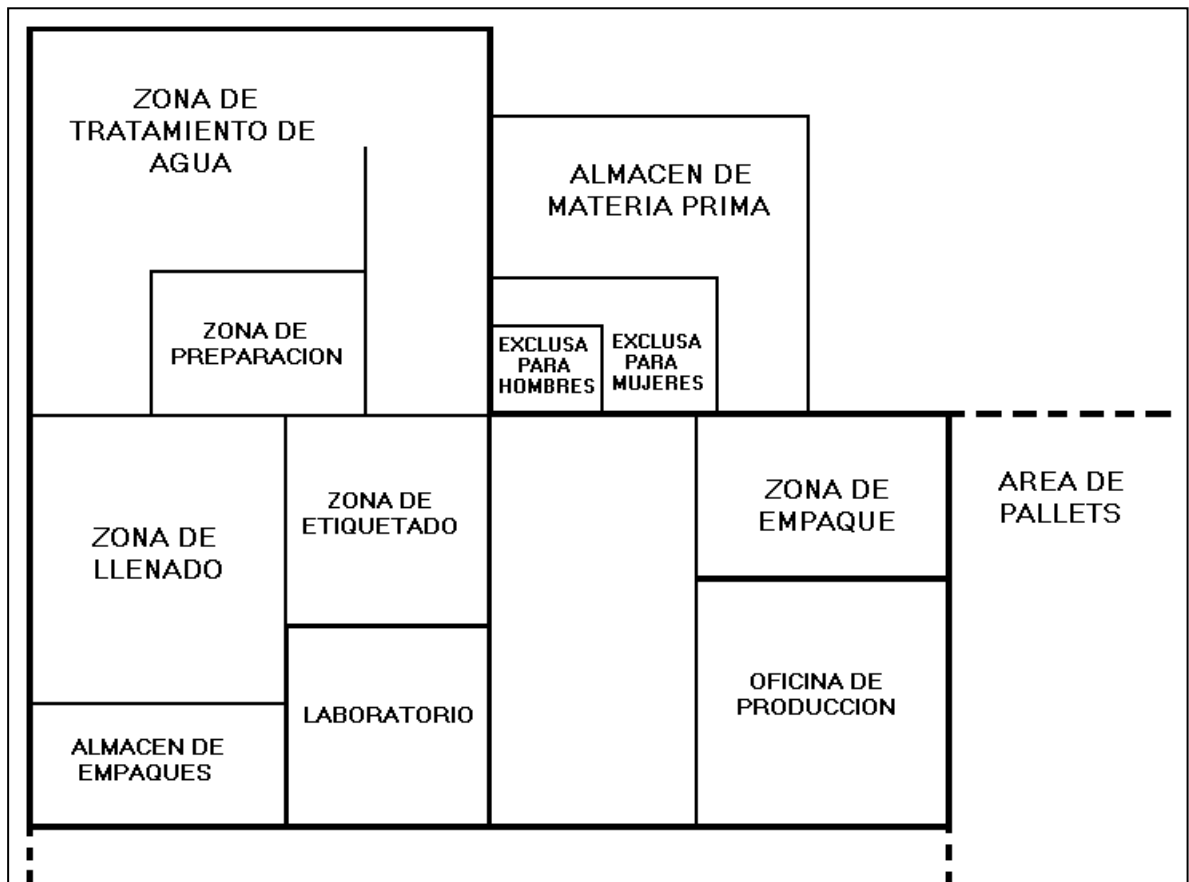
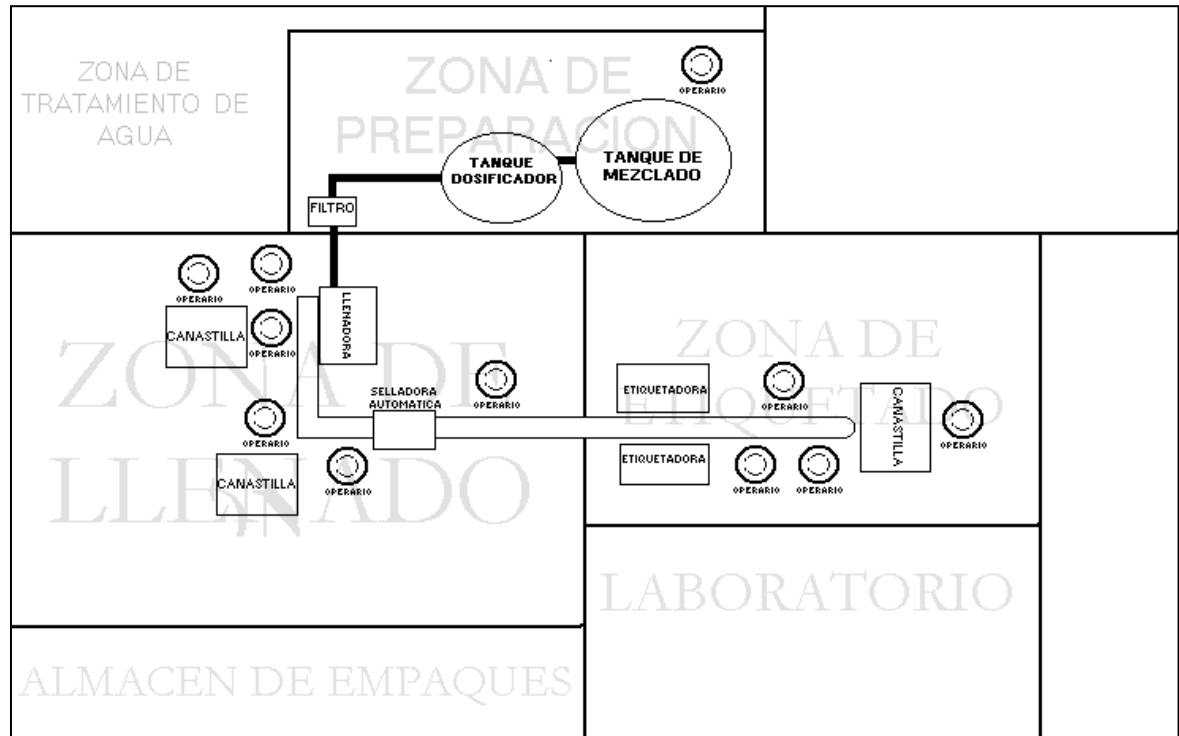


Figura 14. Diagrama de distribución del área de trabajo.



4.1.1. Capacidad de producción de la línea: La línea de enjuagues bucales de Oral-B tiene un nivel promedio de producción actual de 570 lotes por año, es decir, 2 lotes diarios durante 285 días de trabajo productivo.

Los 80 días restantes son tiempos improductivos utilizados para tareas de mantenimiento y sanetización de equipos y están distribuidos de la siguiente manera:

- 17 días de tiempo down.
- 15 días de mantenimiento preventivo.
- 48 días de sanetizaciones: Dos sanetizaciones mensuales de dos días de duración cada una.

La empresa tiene una producción mensual de 45 lotes promedio, manejando inventarios para un mes de producción y proyectando las ventas de los dos meses siguientes.

4.2. DESCRIPCION DEL PROCESO Y OPERACIONES

4.2.1. Descripción del proceso: El proceso de fabricación de Oral B se divide en dos fases: Purificación del Agua y fabricación del producto, la primera consiste en una actividad de flujo continuo mediante una serie de tuberías donde se desarrolla el proceso de filtración y purificación del agua la cual es la materia prima base para la fabricación del producto. Y la segunda es la línea de producción en la que se desarrollan las actividades de fabricación del enjuague Bucal Oral B. Para efectos de este trabajo no se explicarán las actividades que se desarrollan en la fase 1 ya que por tratarse se un proceso de flujo continuo no presenta información relevante para el estudio de tiempos. En el proceso participan 16 operarios. Una unidad de producto terminado corresponde a una botella en cualquier volumen de enjuague bucal con su respectiva etiqueta y verificación de calidad correspondiente. A continuación, se presentan los flujogramas de proceso para ambas fases.

Figura 15. Flujograma de proceso Fase I

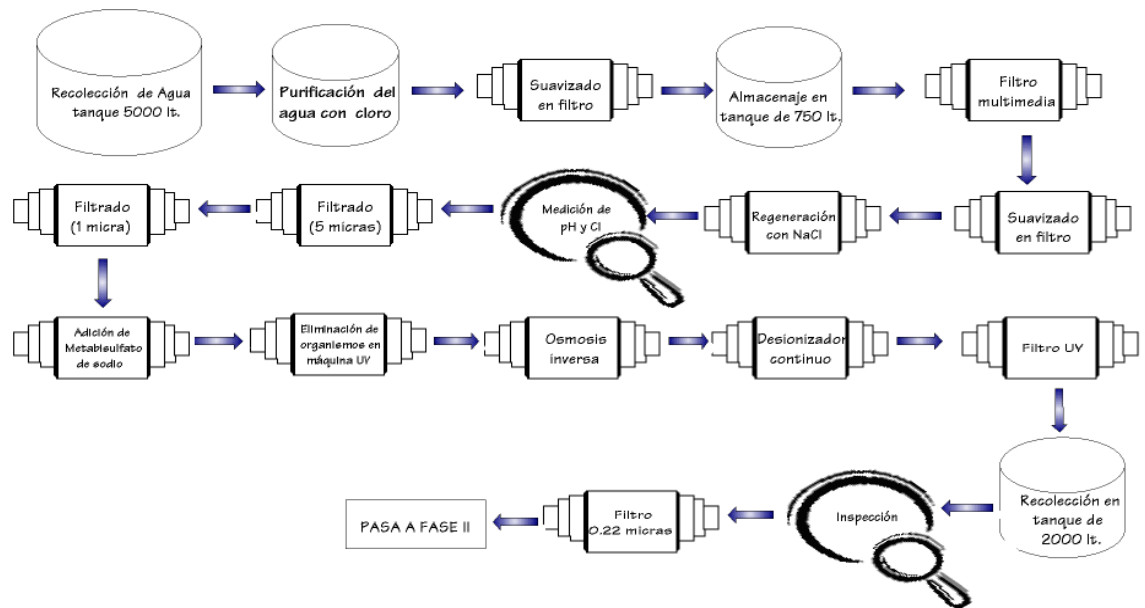
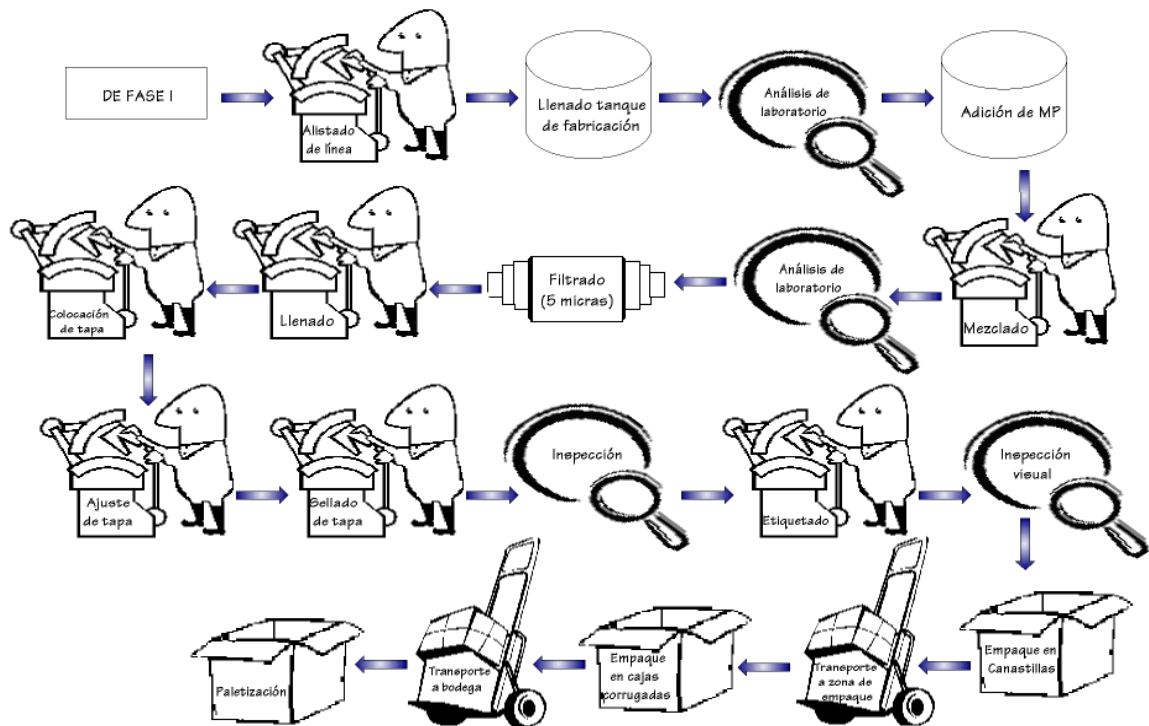


Fig. 16. Flujograma de proceso Fase II



4.2.2. Descripción de las operaciones para la fase II: Esta es la fase donde se elabora el producto y comprende las operaciones desde la preparación hasta el empaque final. Desde la operación 7 a la operación 12 el producto se mueve a través de una banda transportadora a lo largo de la línea. Los mismos operarios pueden participar en las operaciones de alistamiento y de fabricación en un mismo proceso.

Operación 1

Nombre de la operación: ALISTAMIENTO DE LA LINEA

Descripción de la operación: Se realiza la limpieza del área, la limpieza y sanitización de utensilios, se verifica que la línea este despejada y que el proceso cuente con la identificación correspondiente, se alista la Materia Prima, los envases, las tapas y etiquetas que se utilizaran durante el proceso y por ultimo se verifica la presión interna del área de llenado.

Número de Operarios: 6

Operación 2

Nombre de la operación: LLENADO DEL TANQUE DE FABRICACIÓN

Descripción de la operación: Se adiciona en el tanque de fabricación 2446,37 Lts. de agua purificada proveniente de la fase I.

Número de Operarios: 1

Operación 3

Nombre de la operación: ANÁLISIS DEL AGUA

Descripción de la operación: una vez terminada la recolección del agua se le realizan los análisis fisicoquímicos del agua en el laboratorio.

Número de Operarios: 2

Operación 4

Nombre de la operación: MEZCLADO

Descripción de la operación: Se adiciona la materia prima en el tanque de preparación según instrucciones del procedimiento de fabricación estándar de Enjuague Bucal Oral B, suministrado por Gillete® Corporation

Número de Operarios: 1

Operación 5

Nombre de la operación: ANÁLISIS DE LABORATORIO

Descripción de la operación: Se toman dos muestras de fondo, tomadas justo a la salida de la tubería de recirculación y dos muestras de la superficie, se identifican y realizan las pruebas correspondientes

Número de Operarios: 2

Operación 6

Nombre de la operación: FILTRADO

Descripción de la operación: Al iniciar el proceso de llenado la mezcla pasa por un filtro de 0,5 micras, para eliminar cualquier residuo sólido.

Operación 7

Nombre de la operación: LLENADO

Descripción de la operación: Un operario toma las botellas de una canasta ubicada a un lado de la máquina y se las entrega al operador de la llenadora el cual toma 2 de ellas y las coloca en cada una de las boquillas de la Máquina llenadora, se presiona el pedal regulador y se llena hasta el nivel indicado de acuerdo a la presentación programada, para esto se utiliza una

Máquina llenadora *Kalish* modelo *K-25803*, con presión de 50 PSI, con velocidad y volumen de llenado regulable.

Número de Operarios: 2

Operación 8

Nombre de la operación: COLOCACIÓN DE TAPA

Descripción de la operación: Se toman las tapas con el sello de seguridad de una canastilla y se enroscan manualmente en la boquilla del frasco.

Número de Operarios: 1

Operación 9

Nombre de la operación: AJUSTE DE TAPA

Descripción de la operación: Se realiza el ajuste de la tapa con una Máquina enroscadora de torque.

Número de Operarios: 1

Operación 10

Nombre de la operación: SELLADO AUTOMATICO

Descripción de la operación: La botella pasa por una Máquina de sellado automático con calor en la cual el sello de seguridad se adhiere a la boquilla de la botella.

Operación 11

Nombre de la operación: INSPECCION DE AJUSTE

Descripción de la operación: Se verifica el ajuste de la tapa ejerciendo una presión contraria al sentido de la rosca verificando que este bien tapada la botella.

Número de Operarios: 1

Operación 12

Nombre de la operación: ETIQUETADO

Descripción de la operación: Las botellas llenas pasan por el modulo de etiquetado el cual combina una etiquetadora marca *Schander* modelo **123** serie **0596** y una impresora marca *Metronic* modelo **260** donde las etiquetas con sus respectivo número y fecha de lote son adheridas a las botellas.

Número de Operarios: 1

Operación 13

Nombre de la operación: INSPECCION DE ETIQUETADO

Descripción de la operación: Se verifica que las etiquetas estén bien pegadas y se encuentren en buen estado.

Número de Operarios: 2

Operación 14

Nombre de la operación: EMPAQUE EN CANASTILLA

Descripción de la operación: Se coloca el producto terminado en una canastilla para ser transportado luego a la zona de empaque.

Número de Operarios: 1

Operación 15

Nombre de la operación: TRANSPORTE A ZONA DE EMPAQUE

Descripción de la operación: Se transportan 5 canastillas, en un montacargas manual, llenas de producto desde la zona de etiquetado a la zona de empaque.

Número de Operarios: 1

Operación 16

Nombre de la operación: EMPAQUE EN CAJAS CORRUGADAS

Descripción de la operación: Se arman las cajas corrugadas y se empacan en ellas 12 unidades de producto terminado, se sellan y se les coloca el código de barra correspondiente a la unidad de empaque. Para algunos países las unidades de empaque por caja varían.

Número de Operarios: 3

Operación 17

Nombre de la operación: TRANSPORTE A BODEGA

Descripción de la operación: Se transportan las cajas en un montacargas manual, desde la zona de empaque hasta la bodega principal.

Número de Operarios: 6

Operación 18

Nombre de la operación: PALETIZADO

Descripción de la operación: Se arman pallets de 112 cajas y se forran con papel autosellante, se organizan en la bodega de Producto terminado.

Número de Operarios: 6

4.2.3. Estudio del trabajo para el estado actual: “El estudio del trabajo requiere la medición del tiempos como medida de trabajo”¹⁴ con el objetivo de medir eficiencias, capacidades, establecer cargas de trabajo, balanceo de la línea, Número de piezas obtenidas por turno, tacto, crédito e identificar cuellos de botella.

Para establecer los tiempos del estado actual se tomó como referencia un estudio de tiempos anterior realizado mediante el sistema de tiempos predeterminados MOST, en este se encuentran registrados los valores normalizados para cada una de las operaciones del proceso, estos valores serán utilizados como muestras para el modelo de simulación.

En la tabla siguiente se muestran los tiempos predeterminados para las actividades del proceso de fabricación de enjuague bucal Oral-B.

¹⁴ Manual de REFA Asociación Alemana para el Estudio del Trabajo

Tabla 2. Tiempo por operación para el estado actual

No. operación	Descripción de la operación	Tiempo normalizado por lote
1	Alistamiento de la línea	60 min
2	Llenado del tanque de fabricación	30 min
3	Análisis del agua	5 min
4	Mezclado	160 min
5	Análisis de laboratorio	5 min
6	Filtrado	10,14 min
7	Llenado	195 min
8	Colocación de tapa	174 min
9	Ajuste de tapa	145 min
10	Sellado automático	72,5 min
11	Inspección de ajuste	152 min
12	Etiquetado	80 min
13	Inspección de etiquetado	145 min
14	Empaque en canastilla	92 min
15	Transporte a zona de empaque	32 min
16	Empaque en cajas corrugadas	150 min
17	Transporte a bodega	20 min
18	Palatizado	150 min

Teniendo como base estos tiempos la capacidad actual de la línea es:

Capacidad de la línea = $480 \text{ min} / 195 \text{ min} = 2.46$ lotes

En donde 480 minutos es el tiempo total disponible de la jornada laboral diaria y 195 minutos es el tiempo por lote en la operación cuello de botella.

Ahora se desarrolla un modelo de simulación que valide los tiempos con los que se va a trabajar con el fin de modelar las alternativas de mejora, es decir un modelo base para ser modificado y simular las alternativas de cambio propuestas. Para esto se recolectaron los siguientes datos.

1. Se hizo necesario comprobar que los resultados del modelo base coincidan con los del estado actual de la línea de producción, ya que este servirá como base para evaluar las alternativas de cambio, estimar el número de lotes que se pueden producir en la línea en un día, identificar y comprobar la operación cuello de botella mediante una comparación en los recursos por mayor utilización.
2. Se realizó la recolección de tiempos con cronómetro para cada una de la operación, el tamaño de la muestra se determinó según la tabla 3, en este caso se tomaron 140 tiempos debido a que el tiempo del ciclo es de 0.054, para algunas operaciones realizadas sólo por máquinas el tiempo es constante.

Tabla 3. Tabla para determinar el Tamaño de muestra

Tiempo por pieza o ciclo mayor que	Número de ciclos por estudiar
480 minutos	2
180 minutos	3
120 minutos	4
60 minutos	5
48 minutos	6
30 minutos	8
18 minutos	10
12 minutos	12
7.2 minutos	15
4.8 minutos	20
3 minutos	25
2.1 minutos	30
1.2 minutos	40
0.72 minutos	50
0.48 minutos	60
0.3 minutos	80
0.18 minutos	100
0.12 minutos	120
menos de 0.12 minutos	140

- El número de operarios y máquinas que participan en el proceso, en este caso para la línea de Oral B se tienen 15 operarios, 1 analista de laboratorio, y un Líder de línea. También se cuenta con una máquina llenadora marca *KALISH K-* 25803 con 2 boquillas, una máquina etiquetadora marca *COMBINA - SCHAFER* modelo 132 y una impresora marca *METRONIC* modelo 260.

4. Se trabaja un turno de 8:00 a.m. a 11:30 a.m. y de 1:00 p.m. a 5:30 p.m.

Todos estos datos se tomaron durante dos meses para registrar las variaciones que se pudieran presentar, para esto se contó con la ayuda de todas las personas que intervienen en el proceso.

4.2.4. Desarrollo del modelo

Cabe mencionar que para el desarrollo del modelo los tiempos por pieza se ajustaron a una distribución estadística y para esto se empleo la herramienta Input Analyzer del software *Arena*®.

La prueba de bondad de ajuste realizada consiste en introducir los datos de tiempos cronometrados obtenidos, los cuales se encuentran registrados en las tablas 4 a la 13, en el Input Analyzer y esta herramienta los ajusta a una distribución y despliega el valor del error, si el error se aproxima a cero 0, quiere decir que los valores tomados se ajustan a esa distribución. En la tabla 14 se muestran los resultados de la distribución y error para cada tiempo empleado en la simulación.

Tabla 4. Tiempos observados para la operación 7.

Tiempos observados para la operación 7 (tiempo en minutos)						
0,054	0,056	0,051	0,058	0,056	0,053	0,056
0,053	0,054	0,054	0,051	0,057	0,058	0,057
0,058	0,053	0,058	0,054	0,056	0,056	0,056
0,056	0,058	0,051	0,056	0,057	0,057	0,057
0,057	0,056	0,054	0,058	0,058	0,058	0,058
0,054	0,057	0,056	0,051	0,051	0,051	0,054
0,055	0,056	0,058	0,054	0,054	0,054	0,053
0,052	0,057	0,051	0,054	0,058	0,058	0,058
0,057	0,058	0,054	0,051	0,051	0,056	0,056
0,058	0,051	0,054	0,054	0,054	0,054	0,057
0,051	0,054	0,053	0,056	0,056	0,056	0,056
0,054	0,056	0,058	0,058	0,057	0,054	0,057
0,056	0,054	0,056	0,051	0,051	0,053	0,058
0,058	0,053	0,054	0,054	0,054	0,058	0,051
0,051	0,058	0,056	0,054	0,057	0,058	0,054
0,054	0,056	0,054	0,053	0,058	0,051	0,056
0,056	0,057	0,057	0,056	0,051	0,054	0,057
0,058	0,051	0,058	0,054	0,054	0,056	0,051
0,051	0,054	0,051	0,053	0,056	0,054	0,054
0,054	0,058	0,054	0,058	0,057	0,053	0,058

Tabla 5. Tiempos observados para la operación 8.

Tiempos observados para la operación 8 (tiempo en minutos)						
0,024	0,028	0,026	0,031	0,03	0,025	0,027
0,026	0,024	0,028	0,026	0,027	0,028	0,026
0,03	0,027	0,027	0,028	0,025	0,025	0,028
0,027	0,031	0,026	0,027	0,028	0,028	0,024
0,025	0,026	0,024	0,026	0,024	0,024	0,026
0,028	0,028	0,026	0,028	0,027	0,027	0,031
0,024	0,027	0,024	0,027	0,027	0,031	0,026
0,027	0,026	0,026	0,025	0,026	0,026	0,028
0,031	0,024	0,03	0,028	0,028	0,028	0,025
0,026	0,026	0,027	0,024	0,024	0,027	0,028
0,028	0,03	0,025	0,027	0,026	0,026	0,025
0,027	0,027	0,028	0,026	0,031	0,024	0,028
0,026	0,025	0,025	0,0294	0,023	0,026	0,024
0,028	0,027	0,028	0,031	0,027	0,03	0,027
0,024	0,031	0,024	0,023	0,025	0,027	0,024
0,026	0,026	0,027	0,027	0,028	0,025	0,026
0,0294	0,028	0,024	0,031	0,024	0,028	0,03
0,031	0,025	0,026	0,026	0,027	0,024	0,027
0,023	0,028	0,03	0,028	0,031	0,028	0,023
0,027	0,025	0,027	0,023	0,026	0,024	0,027

Tabla 6. Tiempos observados para la operación 9.

Tiempos observados para la operación 9 (tiempo en minutos)						
0,021	0,026	0,028	0,027	0,026	0,024	0,028
0,02	0,024	0,024	0,024	0,028	0,026	0,027
0,027	0,028	0,026	0,028	0,025	0,024	0,026
0,027	0,024	0,028	0,024	0,027	0,028	0,028
0,024	0,026	0,027	0,026	0,026	0,024	0,025
0,026	0,028	0,026	0,028	0,028	0,027	0,027
0,024	0,027	0,028	0,027	0,026	0,026	0,024
0,028	0,026	0,025	0,026	0,0294	0,028	0,023
0,024	0,021	0,027	0,027	0,024	0,025	0,024
0,026	0,02	0,026	0,026	0,023	0,026	0,028
0,028	0,027	0,028	0,026	0,024	0,0294	0,024
0,027	0,027	0,025	0,0294	0,027	0,024	0,026
0,026	0,024	0,026	0,024	0,024	0,023	0,028
0,028	0,027	0,0294	0,026	0,028	0,027	0,025
0,025	0,026	0,024	0,024	0,024	0,021	0,026
0,026	0,028	0,023	0,028	0,026	0,02	0,0294
0,0294	0,025	0,024	0,024	0,028	0,027	0,028
0,024	0,028	0,028	0,026	0,025	0,027	0,024
0,023	0,024	0,024	0,028	0,023	0,024	0,026
0,027	0,026	0,026	0,024	0,024	0,026	0,028

Tabla 7. Tiempos observados para la operación 11.

Tiempos observados para la operación 11 (tiempo en minutos)						
0,0209	0,021	0,024	0,019	0,022	0,023	0,019
0,023	0,0203	0,019	0,026	0,0205	0,021	0,023
0,018	0,027	0,026	0,021	0,021	0,024	0,019
0,024	0,025	0,021	0,025	0,0203	0,026	0,026
0,019	0,025	0,025	0,026	0,027	0,019	0,021
0,026	0,026	0,026	0,0209	0,025	0,024	0,025
0,021	0,022	0,022	0,023	0,019	0,026	0,026
0,025	0,0205	0,023	0,018	0,026	0,019	0,0209
0,026	0,023	0,018	0,024	0,021	0,022	0,023
0,022	0,021	0,024	0,023	0,025	0,0205	0,018
0,0205	0,024	0,025	0,021	0,026	0,021	0,024
0,021	0,026	0,023	0,024	0,0209	0,019	0,021
0,0203	0,019	0,021	0,026	0,023	0,026	0,024
0,027	0,0209	0,024	0,019	0,018	0,021	0,026
0,025	0,023	0,018	0,022	0,024	0,025	0,022
0,023	0,018	0,024	0,0205	0,024	0,026	0,0205
0,021	0,024	0,019	0,021	0,026	0,0203	0,021
0,024	0,019	0,026	0,0203	0,019	0,027	0,0203
0,026	0,026	0,025	0,027	0,023	0,025	0,027
0,019	0,021	0,026	0,025	0,021	0,023	0,025

Tabla 8. Tiempos observados para la operación 13.

Tiempos observados para la operación 13 (tiempo en minutos)						
0,021	0,025	0,028	0,024	0,021	0,024	0,021
0,023	0,021	0,023	0,028	0,023	0,025	0,02
0,0245	0,02	0,0198	0,023	0,024	0,021	0,0218
0,022	0,0218	0,021	0,022	0,025	0,02	0,023
0,019	0,023	0,0245	0,021	0,021	0,0218	0,022
0,022	0,022	0,022	0,023	0,02	0,021	0,024
0,021	0,022	0,019	0,024	0,0218	0,023	0,028
0,023	0,019	0,022	0,025	0,023	0,0245	0,023
0,024	0,022	0,021	0,021	0,022	0,022	0,0198
0,025	0,021	0,023	0,0198	0,024	0,019	0,021
0,021	0,023	0,024	0,021	0,028	0,022	0,021
0,02	0,024	0,025	0,021	0,023	0,021	0,023
0,0218	0,024	0,021	0,023	0,0198	0,023	0,024
0,023	0,028	0,02	0,0245	0,021	0,023	0,025
0,022	0,023	0,021	0,022	0,0245	0,0198	0,021
0,024	0,0198	0,0218	0,019	0,022	0,021	0,023
0,028	0,021	0,023	0,02	0,019	0,023	0,0245
0,023	0,021	0,022	0,0218	0,022	0,022	0,022
0,0198	0,023	0,024	0,023	0,021	0,024	0,019
0,021	0,0245	0,023	0,022	0,023	0,028	0,022

Tabla 9. Tiempos observados para la operación 14.

Tiempos observados para la operación 14 (tiempo en minutos)						
0,012	0,013	0,017	0,0158	0,012	0,013	0,012
0,018	0,012	0,012	0,0165	0,0151	0,012	0,013
0,015	0,01	0,0151	0,0172	0,0158	0,0179	0,015
0,012	0,014	0,0158	0,0179	0,013	0,0151	0,01
0,013	0,017	0,0165	0,013	0,012	0,0158	0,014
0,015	0,012	0,0172	0,012	0,01	0,0165	0,017
0,013	0,0151	0,0179	0,01	0,014	0,015	0,0151
0,012	0,0158	0,015	0,014	0,017	0,012	0,013
0,010	0,0165	0,013	0,015	0,013	0,018	0,012
0,014	0,0172	0,012	0,013	0,012	0,015	0,0158
0,017	0,0179	0,012	0,012	0,0165	0,0172	0,0165
0,012	0,015	0,018	0,012	0,0172	0,014	0,013
0,0151	0,013	0,015	0,013	0,0179	0,017	0,012
0,0158	0,012	0,012	0,015	0,015	0,012	0,012
0,0165	0,012	0,013	0,017	0,015	0,012	0,018
0,0172	0,018	0,015	0,012	0,012	0,013	0,015
0,0179	0,015	0,013	0,018	0,013	0,015	0,012
0,015	0,012	0,012	0,015	0,015	0,013	0,0172
0,013	0,013	0,01	0,012	0,012	0,012	0,0179
0,012	0,015	0,014	0,0151	0,018	0,01	0,015

Tabla 10. Tiempos observados para la operación 15.

Tiempos observados para la operación 15 (tiempo en minutos)						
7,25	6,90	7,90	7,30	7,90	6,70	5,95
8,00	7,60	7,30	6,24	6,70	8,00	7,90
5,30	7,90	6,24	5,95	6,70	5,60	5,70
6,90	5,70	7,90	7,90	5,70	6,90	7,30
7,60	6,70	7,25	7,30	6,70	5,95	6,24
7,90	5,70	6,70	6,90	6,00	7,90	6,10
6,70	5,70	5,70	6,70	5,95	7,25	5,70
5,70	5,70	6,24	5,70	7,90	8,00	5,95
5,95	5,95	7,90	5,95	7,30	5,30	7,30
7,90	7,90	7,25	7,90	6,90	6,90	6,24
7,30	7,90	8,00	7,90	7,60	7,60	5,95
6,24	7,30	5,95	7,30	7,90	7,90	7,90
7,90	6,24	7,90	6,10	7,30	6,70	6,24
6,70	5,95	7,30	7,25	6,24	7,25	7,90
5,70	7,90	6,24	8,00	7,90	7,60	5,95
5,95	7,30	6,10	6,70	5,95	7,90	7,30
7,90	5,30	5,30	6,70	7,90	6,70	6,24
7,30	6,90	5,70	6,24	6,23	8,00	5,30
6,24	7,25	5,30	6,10	6,11	7,90	7,90
6,10	8,00	6,10	5,70	7,60	6,70	7,60

Tabla 11. Tiempos observados para la operación 16.

Tiempos observados para la operación 16 (tiempo en minutos)						
0,50	0,80	0,50	0,90	0,60	0,90	0,80
0,70	0,90	0,49	0,57	0,75	0,57	0,60
0,80	0,57	0,60	0,75	0,75	0,60	0,49
0,60	0,75	0,90	0,96	0,96	0,80	0,60
0,75	0,96	0,57	0,75	0,60	0,75	0,70
0,90	0,50	0,49	0,96	0,75	0,90	0,90
0,57	0,70	0,60	0,60	0,90	0,57	0,57
0,75	0,60	0,57	0,90	0,57	0,80	0,75
0,96	0,75	0,75	0,57	0,60	0,75	0,96
0,49	0,96	0,96	0,75	0,49	0,96	0,50
0,60	0,50	0,49	0,96	0,60	0,49	0,70
0,80	0,96	0,60	0,49	0,49	0,60	0,80
0,60	0,48	0,80	0,50	0,60	0,80	0,60
0,75	0,60	0,75	0,70	0,75	0,60	0,50
0,90	0,75	0,90	0,70	0,96	0,75	0,70
0,57	0,50	0,57	0,60	0,80	0,57	0,80
0,75	0,70	0,49	0,75	0,60	0,65	0,60
0,96	0,80	0,60	0,75	0,75	0,75	0,75
0,49	0,80	0,60	0,90	0,75	0,96	0,90
0,60	0,60	0,75	0,60	0,90	0,49	0,57

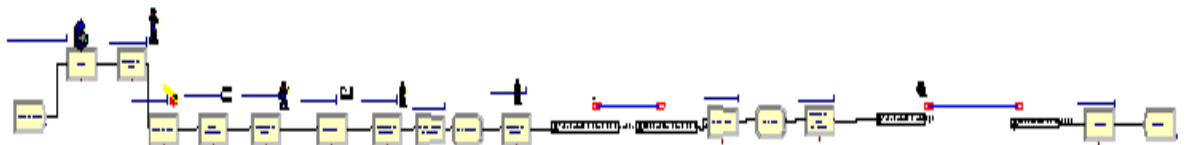
Tabla 12. Tiempos observados para la operación 17.

Tiempos observados para la operación 17 (tiempo en minutos)						
2,50	2,50	2,40	2,35	2,60	2,60	2,40
2,80	2,60	2,35	2,60	2,40	2,50	2,60
2,60	2,60	2,60	2,80	2,35	2,60	2,40
2,50	2,40	2,80	2,80	2,60	2,40	2,35
2,60	2,35	2,60	2,50	2,40	2,40	2,60
2,40	2,60	2,50	2,60	2,60	2,35	2,60
2,60	2,40	2,60	2,40	2,80	2,60	2,80
2,40	2,60	2,40	2,60	2,60	2,60	2,80
2,35	2,80	2,60	2,35	2,50	2,80	2,60
2,60	2,60	2,40	2,60	2,60	2,80	2,50
2,80	2,50	2,35	2,80	2,40	2,50	2,40
2,80	2,60	2,60	2,60	2,50	2,60	2,60
2,60	2,60	2,80	2,50	2,80	2,40	2,40
2,50	2,40	2,50	2,60	2,60	2,50	2,60
2,60	2,80	2,80	2,50	2,35	2,80	2,50
2,40	2,35	2,60	2,60	2,60	2,60	2,80

Tabla 13. Tiempos observados para la operación 18.

Tiempos observados para la operación 18 (tiempo en minutos)						
19,30	18,70	18,89	18,90	18,90	19,20	18,80
18,75	19,10	19,20	19,00	19,00	18,90	18,70
19,00	18,90	18,90	18,60	18,70	18,50	19,10
18,60	19,00	18,70	18,80	19,10	18,89	18,50
18,80	18,60	19,10	18,89	18,50	18,90	18,89
18,70	18,80	18,50	19,20	18,89	19,00	19,20
19,10	19,20	19,00	18,90	19,20	18,60	18,90
18,50	18,90	18,60	18,70	18,90	18,80	19,00
18,89	19,00	18,80	19,10	18,60	18,70	18,89
19,20	18,60	19,30	18,50	18,80	19,10	19,20
18,90	18,80	18,75	18,50	19,10	19,00	18,90
19,00	18,70	18,70	18,89	18,50	18,60	19,00
18,60	18,50	19,10	19,20	19,30	18,80	18,60
18,80	18,89	18,50	19,30	18,75	18,50	18,80
18,70	18,89	18,89	18,75	19,00	18,89	18,60
19,10	19,20	19,20	19,00	18,60	19,20	19,30
18,50	19,30	18,90	18,60	18,80	18,70	18,75
18,89	18,75	19,00	18,80	18,70	19,10	19,10
19,20	19,10	18,60	18,70	18,89	19,30	18,50
18,90	18,50	18,80	19,10	19,20	18,75	18,70

.2.5. Descripción del modelo: El modelo empieza con un módulo CREATE, en este módulo se definen los parámetros iniciales del modelo, las variables que ingresan (en este caso las botellas) y el número de



entidades por llegada, el modelo continua con módulos PROCESS que representan el proceso productivo como tal, cada módulo representa una estación de trabajo dentro del proceso y a cada uno de ellos se le asignan los recursos que utilizan, las características de los tiempos observados de operación y la distribución por la que se rigen estos tiempos. Los módulos BATCH utilizados en el modelo son requeridos para agrupar la cantidad de unidades necesaria para poder pasar a la siguiente operación. En las operaciones de transporte se utilizan submodelos ya que se requiere describir las operaciones de carga y descarga de los medios de transporte.

Figura 17. Esquema del modelo de simulación

Tabla 14. Distribuciones y errores de estimación utilizados para el modelo en estado actual.

Oper.	Descripción de la operación	Distribución	Sq error
7	Llenado	$0.05 + 0.01 * \text{BETA}(1.79, 1.97)$	0.027281
8	Colocación de tapa	$0.02 + 0.02 * \text{BETA}(5.52, 10.5)$	0.017634
9	Ajuste de tapa	$0.01 + \text{ERLA}(0.000621, 25)$	0.001252
10	Sellado automático	Constant	
11	Inspección de ajuste	$0.01 + \text{LOGN}(0.0126, 0.00273)$	0.003680
12	Etiquetado	Constant	
13	Inspección de etiquetado	$0.01 + \text{ERLA}(0.000496, 25)$	0.017469
14	Empaque en canastilla	$\text{ERLA}(0.000571, 25)$	0.013253

15	Transporte a zona de empaque	$5.02 + 2.98 * \text{BETA}(1.04, 0.674)$	0.021849
16	Empaque en cajas corrugadas	$0.44 + \text{WEIB}(0.295, 1.8)$	0.019127
17	Transporte a bodega	$2.3 + 0.55 * \text{BETA}(1.23, 1.47)$	0.085901
18	Paletizado	$18.4 + 0.97 * \text{BETA}(1.51, 1.74)$	0.017916

Se corrió el modelo utilizando poca velocidad de animación para visualizar el comportamiento del sistema. Se determinó el número de réplicas necesarias para disminuir el error de estimación y con ello obtener información confiable, se hicieron 20 réplicas. Después de la corrida con 20 réplicas se comprobó que el modelo trabajo en la forma esperada y no se detectaron errores.

Una vez el modelo de simulación quedo terminado y verificado se comprobó que el modelo representaba la realidad. Cuando se obtuvo la aprobación quedo validado el modelo teniendo en cuenta que nunca llegara a ser una copia idéntica, pero si muy aproximada a la realidad. Los indicadores que se tuvieron en cuenta para llegar a esta conclusión fueron el número de unidades que salen de la línea y la identificación de la operación cuello de botella.

La finalidad de crear este modelo de simulación fue comprobar que éste pudiera servir como base para las alternativas propuestas, los resultados del modelo para el estado actual son:

Tabla 15. Entrada de entidades al sistema.

Number in		Mín.	Máx.
	Average	Average	Average
Botellas	16.668	3.639	16.760

Unidad de tiempo: Horas

Work In Process¹⁵: 12.250 unidades

Tabla 16. Salida de entidades del sistema.

Number out		Mín.	Máx.
	Average	Average	Average
Botellas	14.449	14.445	14.504

Tabla 17. Análisis de Costos del estado actual.

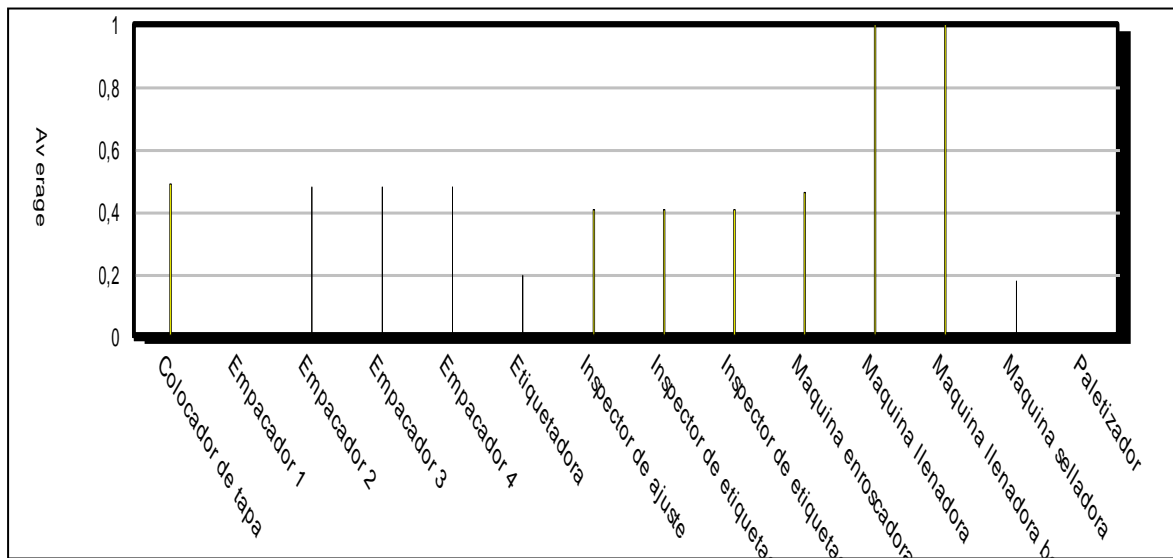
GASTOS DE PERSONAL			
Cantidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
1	Líder de línea	\$ 865.000	\$ 865.000
3	Coordinador de producción	\$ 495.000	\$ 1.485.000
12	Operarios	\$ 358.000	\$ 4.296.000
Total			\$ 6.646.000

¹⁵ Work in Process (WIP): Trabajo en Proceso.

Tabla 18. Utilización de los recursos en el estado actual.

Recursos	% uso
Colocador de tapa	0,49
Empacador 1	0,01
Empacador 2	0,48
Empacador 3	0,48
Empacador 4	0,48
Etiquetadora	0,20
Inspector de ajuste	0,41
Inspector de etiquetado1	0,41
Inspector de etiquetado2	0,41
Máquina enroscadora	0,46
Máquina llenadora boquilla 1	1,00
Máquina llenadora boquilla 2	1,00
Máquina selladora	0,18
Paletizador	0,00

Figura 18. Utilización de los recursos en el estado actual.



En suma, el estado actual de la línea queda definida de la siguiente manera:

- ◆ En total son 18 operaciones en la fase 2, teniendo en cuenta que la fase 1 es un proceso continuo de purificación de agua y las operaciones de la número 1 a la número 6 son operaciones de preparación del enjuague bucal con tiempos y procedimientos estandarizados por The Gillette® Corporation.
- ◆ Hay 16 personas trabajando en la línea de producción con un costo en Talento Humano de \$ 6.646.000 mensuales, estos trabajan un turno de 8 horas diarias de lunes a viernes.
- ◆ El cuello de botella se identificó en la Máquina de llenado, esta consta de dos boquillas y su utilización es del 100% en este proceso de llenado, y presenta un tiempo por unidad de 0,055 min.

- ◆ La eficiencia de la línea de producción es de 85% de la capacidad instalada con una producción promedio de 14.500 unidades por día, es decir 290.000 unidades al mes.

5. PRESENTACION Y COMPARACION DE LAS ALTERNATIVAS DE MEJORA

5.1. ANALISIS DE ALTERNATIVA 1: Ampliación a tres turnos de trabajo.

La línea de producción de Oral B está siendo usada en un solo turno de 8 horas diarias como se mostró anteriormente, con una producción de 14500 unidades por día.

Para esta alternativa se propone el establecimiento de 3 turnos de trabajo de 8 horas cada uno bajo el siguiente esquema:

Tabla 19. Establecimiento de los turnos de trabajo para la alternativa 1.

Turno	De	A	Descanso
Turno 1	00:00	8:00	3:30 – 4:30
Turno 2	8:00	16:00	11:30 – 12:30
Turno 3	16:00	00:00	19:30 – 20:30

Se realizó la simulación del estado propuesto en esta alternativa, realizando la parametrización en el modelo base que representaba el estado actual y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 20. Entrada de entidades al sistema para la alternativa 1.

Number in	Mín.	Máx.
	Average	Average
Botellas	3639	48.547

No. Réplicas: 20

Unidad de tiempo: Horas

WIP: 16.395 unidades

Tabla 21. Salida de entidades del sistema para la alternativa 1.

Number out	Mín.	Máx.
	Average	Average
Botellas	15.331	43.766

Tabla 22. Análisis de costos para la alternativa 1.

GASTOS DE PERSONAL			
Cantidad	Descripción	Valor unitario / mes	Valor total / mes
Turno 1			
1	Líder de línea	\$ 1.092.060	\$ 1.092.060
3	Coordinador de producción	\$ 624.930	\$ 1.874.790
12	Operarios	\$ 451.990	\$ 5.423.880
Subtotal			\$ 8.390.730
Turno 2			
1	Líder de línea	\$ 865.000	\$ 865.000
3	Coordinador de producción	\$ 495.000	\$ 1.485.000

12	Operarios	\$ 358.000	\$ 4.296.000
Subtotal			\$ 6.646.000
Cantidad	Descripción	Valor unitario / mes	Valor total / mes
Turno 3			
1	Líder de línea	\$ 940.680	\$ 940.680
3	Coordinador de producción	\$ 538.320	\$ 1.614.960
12	Operarios	\$ 389.400	\$ 4.672.065
Subtotal			\$ 7.227.705
TOTAL			\$22.264.434

Tabla 23. Utilización de los recursos para la alternativa 1.

RECURSOS	% USO
Colocador de tapa	0,49
Empacador 1	0,01
Empacador 2	0,48
Empacador 3	0,48
Empacador 4	0,48
Etiquetadora	0,20
Inspector de ajuste	0,41
Inspector de etiquetado1	0,41
Inspector de etiquetado2	0,41
Maquina enroscadora	0,46
Maquina llenadora	1,00
Maquina llenadora boquilla 2	1,00
Maquina selladora	0,18
Paletizador	0,00

- ◆ En total hay 48 personas trabajando en la línea de producción con un costo en Talento Humano de \$ 22.664.434 mensuales, trabajando en 3 turnos de 8 horas diarias de lunes a viernes. Y sin hacer ningún tipo de inversión en maquinaria.
- ◆ El cuello de botella se identificó nuevamente en la máquina de llenado.
- ◆ La eficiencia de la línea de producción es de 92% con una producción promedio de 43.250 unidades por día, aproximadamente 865.000 unidades al mes

5.2. ANALISIS DE ALTERNATIVA 2: Proceso con dos máquinas llenadoras y dos colocadores de tapa:

Se modificó el modelo inicial para sugerir la instalación de otra máquina llenadora con dos boquillas, al duplicar la cantidad de unidades que salen de la primera estación de trabajo se sugiere la ubicación de un segundo operario para colocar tapas, esto con el fin de evitar la formación de un nuevo cuello de botella en la línea. Se

trabaja en un turno de 8:00 a 12:00 y de 1:00 a 5:00 pm. En la simulación del estado propuesto en esta alternativa se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 24. Entrada de entidades al sistema para la alternativa 2.

Number in	Min.	Max.
	Average	Average
Botellas	3.686	50896

No. Réplicas: 20

Unidad de tiempo: Horas

WIP: 32.456 unidades.

Tabla 25. Salida de entidades del sistema para la alternativa 2.

Number out	Min.	Max.
	Average	Average
Botellas	28.260	30.640

Tabla 26. Análisis de costos para la alternativa 2.

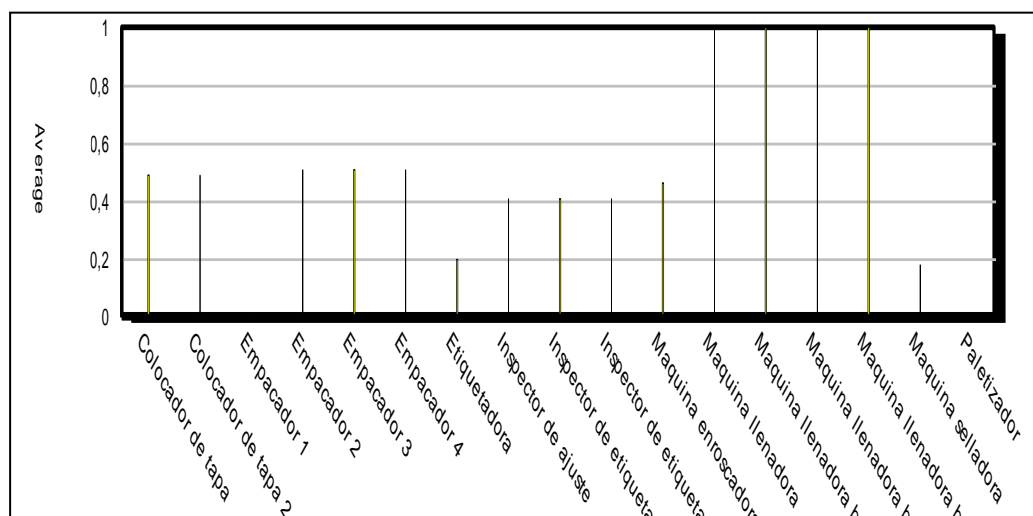
GASTOS DE PERSONAL			
Cantidad	Descripción	Valor unitario / mes	Valor total / mes
1	Líder de línea	\$ 865.000	\$ 865.000
3	Coordinador de producción	\$ 495.000	\$ 1.485.000
14	Operarios	\$ 358.000	\$ 5.012.000
Total			\$7.362.000
INVERSIÓN EN MAQUINARIAS			
Cantidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
2	Boquilla de llenadora Kalish	\$ 691.600	\$1. 383.200

Total	\$8.745.200
--------------	--------------------

Tabla 27. Utilización de los recursos en la alternativa 2.

Recursos	% uso
Colocador de tapa	0,49
Colocador de tapa 2	0,49
Empacador 1	0,01
Empacador 2	0,51
Empacador 3	0,51
Empacador 4	0,51
Etiquetadora	0,20
Inspector de ajuste	0,41
Inspector de etiquetado1	0,41
Inspector de etiquetado2	0,41
Maquina enroscadota	0,47
Maquina llenadora	1,00
Maquina llenadora boquilla 2	1,00
Maquina llenadora boquilla 3	1,00
Maquina llenadora boquilla 4	1,00
Maquina selladora	0,18
Paletizador	0,00

Figura 19. Utilización de los recursos para la alternativa 2



- ◆ En total hay 18 personas trabajando en la línea. Esta alternativa requiere una pequeña inversión en maquinaria por valor de \$1.383.200.
- ◆ Para esta alternativa se requiere un costo en Talento Humano de \$7.362.000 mensuales, trabajando en 1 turno de 8 horas diarias de lunes a viernes.
- ◆ El cuello de botella se identificó nuevamente en la máquina de llenado.
- ◆ La eficiencia de la línea de producción es de 89% con una producción promedio de 28.250 unidades por día, aproximadamente 565.000 unidades al mes

5.3. ANALISIS DE ALTERNATIVA 3: Ampliación a dos turnos de trabajo con dos máquinas llenadoras.

En esta alternativa se propone la instalación de otra máquina llenadora con dos boquillas, y programar 2 turnos de trabajo: Un primer turno de 8:00 am a 4:00 pm con descanso de 11:30 am a 12:30 m y otro de 4:00pm a 12:00 pm con descanso de 7:30 a 8:30 pm. En la simulación del modelo se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 28. Entrada de entidades al sistema para la alternativa 3.

Number in	Mín.	Máx.
	Average	Average
Botellas	7.262	98.692

No. Réplicas: 20

Unidad de tiempo: Horas

WIP: 45.256 unidades

Tabla 29. Salida de entidades del sistema para la alternativa 3.

Number out	Mín.	Máx.
	Average	Average
Botellas	46520	62280

Tabla 30. Análisis de costos para la alternativa 3.

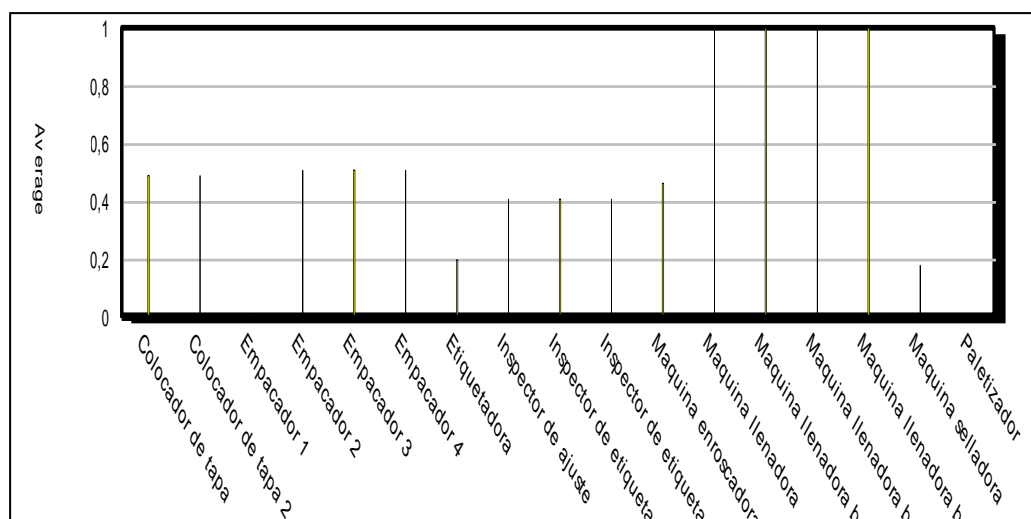
GASTOS DE PERSONAL			
Cantidad	Descripción	Valor unitario / mes	Valor total / mes
Turno 1			
1	Líder de línea	\$ 865.000	\$ 865.000
3	Coordinador de producción	\$ 495.000	\$ 1.485.000
13	Operarios	\$ 358.000	\$ 4.654.000
Subtotal			\$ 7.004.000
Turno 2			
1	Líder de línea	\$ 940.680	\$ 940.680
3	Coordinador de producción	\$ 538.320	\$ 1.614.960
13	Operarios	\$ 389.400	\$ 5.062.200
Subtotal			\$ 7.616.705
INVERSIÓN EN MAQUINARIAS			
Cantidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
2	Boquilla de llenadora Cáliz	\$ 691.600	\$1. 383.200
Total			\$16.003.905

Tabla 31. Utilización de los recursos para la alternativa 3.

Recursos	% uso
Colocador de tapa	0,49
Empacador 1	0,01
Empacador 2	0,48
Empacador 3	0,48
Empacador 4	0,48
Etiquetadora	0,20

Inspector de ajuste	0,41
Inspector de etiquetado1	0,41
Inspector de etiquetado2	0,41
Maquina enroscadora	0,46
Maquina llenadora	1,00
Maquina llenadota boquilla 2	1,00
Maquina selladora	0,18
Paletizador	0,00

Figura 20. Utilización de los recursos para la alternativa 3.



- ◆ En esta alternativa trabajan 34 personas en la línea los costos por Talento Humano son de \$14.620.705 mensuales, trabajando en 2 turnos de 8 horas diarias de lunes a viernes.
- ◆ Para la aplicación de esta alternativa se hace necesaria una inversión en maquinaria de \$1.383.200.
- ◆ El cuello de botella se identificó en el proceso de llenado.

- ◆ La eficiencia de la línea de producción es de 95% con una producción promedio de 57.950 unidades por día, aproximadamente 1.160.000 unidades al mes.

5.4. COMPARACION DEL SISTEMA ACTUAL CON LAS ALTERNATIVAS DE MEJORA

Tabla 32. Comparación del sistema actual con las alternativas de mejora.

	Alternativas			
	Estado actual	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Turnos de trabajo	1	3	1	2
No. Operarios	16	48	17	34
Costos	\$6.646.000	\$22.264.434	\$ 8.400.200	\$16.003.905
Eficiencia	85%	92%	89%	95%
Nivel de producción (unidades por mes)	290.000	865.000	565.000	1.160.000

Aproximadamente se deben hacer 1.000.000 unidades por mes para aumentar el número de unidades producidas y cumplir con los requerimientos de la demanda.

Por tal motivo consideramos que la alternativa más viable a aplicar es la alternativa número 3, debido a que podemos alcanzar el nivel de producción por mes deseado, presenta la eficiencia más alta de las alternativas anteriores (95%) y con un costo relativamente bajo, además que con dos turnos de trabajo no se esforzaría demasiado la maquinaria, como sería en el caso de la alternativa 1.

6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El trabajo presentado se realizó en la empresa Laboratorios Rety de Colombia, la cual actualmente produce en su línea de medicamentos el enjuague bucal Oral - B para América, dentro de sus proyectos a corto plazo la empresa debe determinar una estrategia que le permita ampliar su capacidad de producción para satisfacer la demanda de Europa y Asia sin incurrir en altos costos de inversión.

Como objetivo principal se planteó el encontrar una solución a la problemática antes mencionada mediante el uso de la simulación como herramienta soporte para la toma decisiones. Para esto se desarrollaron las siguientes actividades:

- ◆ Análisis del estado actual de la línea.
- ◆ Presentación de alternativas de solución.
- ◆ Simulación de las alternativas.
- ◆ Desarrollo del análisis de las alternativas.
- ◆ Selección de la alternativa más viable.

El proceso de fabricación y embotellado del enjuague bucal Oral- B cuenta con 18 procesos, teniendo en cuenta que la primera fase hace parte de un proceso continuo de purificación del agua, y que los seis primeros de la fase II no se toman en cuenta a la hora de realizar el modelado en Arena® debido a que los tiempos de éstos se encuentran estandarizados en el manual de buenas prácticas de manufactura y no están sujetos a cambios, además del hecho que el proceso se discretiza solamente a partir de la operación número 7.

El estado inicial de la línea de producción se determinó mediante las observaciones realizadas en la empresa y el estudio de los tiempos estandarizados con que cuenta, con los cuales modelamos el proceso en estado actual mediante el programa de simulación Arena® y pudimos validar los tiempos con los que se trabajarían posteriormente en las alternativas de mejora. Para llevar a cabo los estudios de comportamiento del sistema se siguió un proceso de desarrollo para crear modelos de simulación.

Se determinaron tres diferentes alternativas de solución a la problemática planteada, ampliar a tres los turnos de trabajo manteniendo las condiciones de la planta, mantener un turno de trabajo, pero incorporando una segunda máquina llenadora y un segundo operario colocador de tapa, y, por último, aumentando a dos, tanto los turnos de trabajo como el número de máquinas llenadoras.

De estas alternativas la más viable para su aplicación es la alternativa número tres, teniendo en cuenta el número de unidades que se deben producir, es la única de las alternativas que logra alcanzar la cantidad requerida por la demanda, la cual es de aproximadamente 1.000.000 unidades mensuales, además al ser modelada y evaluada presentó el mayor valor de eficiencia, el número de operarios requeridos es aceptable y los costos que genera son relativamente bajos teniendo en cuenta las ventajas anteriormente señaladas.

BIBLIOGRAFIA

- ◆ **BANKS** J, Carson J. Discrete-events System Simulation. Segunda edición. Editorial Prentice Hall. 1994.
- ◆ **BATEMAN** Robert. Bowden Royce, Gogg Thomas, Harrel Charles, Mott Jack. System Improvement Using Simulation. Quinta edición. Promodel Corporation. USA.
- ◆ **FISHMAN**, G. Principles of Discrete events simulation. New York. Editorial Wiley. 1978.
- ◆ **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS**. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta actualización. ICONTEC. Santafe de Bogotá. 2002.
- ◆ **LAW** A.M., Kelton W. Simulation Modeling and Analysis. Editorial Mc Graw-Hill. 1982.
- ◆ **MENDENHALL**, William. Estadística matemática con aplicaciones. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 1994
- ◆ **NIEBEL**, Benjamín. Ingeniería Industrial, Métodos, Tiempos y Movimientos. Editorial Alfaomega. México. 1990.
- ◆ **RUMBOUH**, James. Blaha, Michel. Eddy, Fredeerick Modelamiento y Diseño Orientado a Objetos. Prentice Hall. 1991
- ◆ **SCHMIDT**, J., TAYLOR R. simulation and analysis of industrial systems. Homewood. 1970.
- ◆ **TAMAYO Y TAMAYO**, Mario. El proyecto de Investigación. Módulos 2 y 5. Serie Aprender a Investigar. ICFES. Colombia. 1999.

- ◆ **VERGEL CABRALES**, Gustavo. Metodología, un manual para la elaboración de diseños y proyectos de investigación. Tercera edición. Publicaciones Corporación Unicosta. Colombia. 1997.
- ◆ **WINSTON**, Wayne. Investigación de Operaciones, Aplicaciones y algoritmos. Segunda edición. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 1994.
- ◆ <http://www.callcentermagazine.com/article/CCM20010227S001>
- ◆ <http://www.eos.ncsu.edu/software/arena>
- ◆ <http://www.advantages.co.nz/arena.asp>
- ◆ www.arenasimulation.com